

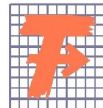
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2013

JITKA LEČBYCHOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: 3106T014 Produktový management - Textil

**TVORBA 3-VRSTVÉHO LAMINÁTU
S NANOVLÁKENNOU MEMBRÁNOU POD
100 g.m⁻²
CREATION OF 3-LAYER LAMINATE WITH
NANOFIBER MEMBRANE UNDER g.m⁻²**

Jitka Lečbychová

KHT-213

Vedoucí bakalářské práce: ing.Roman Knížek

Rozsah práce:

Počet stran textu... 56

Počet obrázků 18

Počet tabulek 18

Počet grafů..... 1

Počet stran příloh . 4

Zadání bakalářské práce

(vložit originál)

PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 26.5.2013

.....

Podpi

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala ing. Romanu Knížkovi za poskytnutí možnosti pracovat na tak zajímavém a moderním tématu nanomembrán. Zároveň mu děkuji za vstřícnost a podporu během studia a tvorby této práce.

Dále bych ráda poděkovala prof. ing. Luboši Hesovi DrSc. za inspiraci a cenné studijní i životní rady.

Mé dík patří samozřejmě rodině a přátelům, kteří při mne vždy stáli v dobrém i zlém.

ANOTACE

Úvod práce je věnován sekundárnímu průzkumu současného trhu s velmi lehkými bundami. Jsou pojmenovány materiály, technologie, zpracování a plošné hmotnosti produktů za účelem návrhu nejžádanějšího konceptu. Rešeršní část pokračuje výrobou a vlastnostmi nanovlákných vrstev a vysvětluje hlavní principy termofyziologického komfortu. Závěr popisuje způsob testování vhodných textilií včetně návrhu experimentu a propagace laminátu. Experimentální část se zabývá výběrem vhodných textilií hlavně z hlediska paropropustnosti a hydrostatické odolnosti. Jsou stanoveny lamináty, které jsou podrobeny stejným testům. Značná část je věnována mechanické odolnosti těchto laminátů. V poslední části jsou pojmenovány vhodné parametry a na jejich základě navržen výsledný laminát s požadovanými vlastnostmi.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Nanovlákná membrána, laminace, plošná hmotnost, lpění vrstev, oděvní komfort

ANNOTATION

Introduction part is devoted to secondary research of contemporary market with extra light jackets. There are termed materials, technologies, treatment and area density in order to design the most wanted concept. The research part continues with production and properties of nanofibers layer and explains the main principles of thermophysical comfort. The experimental part deals with selection of appropriate fabrics mainly from water permeable and hydrostatic resistant point of view. There are determined laminates that are subjected to the same tests. A large part of the thesis is devoted to mechanical properties. In the last section are named appropriate parameters for creation of resulting laminate with required properties.

KEY WORDS:

Nanofibre membrane, lamination, area density, layer clinging, clothing comfort

OBSAH

Úvod	9
TEORETICKÁ ČÁST	
1. NANOTECHNOLOGIE V TEXTILNÍM PRŮMYSLU	10
1.1 Situace na trhu s nanotechnologiemi v textilním odvětví.....	10
1.2 Stanovení cíle	12
2. SITUACE NA TRHU S LEHKÝMI A BĚŽECKÝMI BUNDAMI	13
2.1 Základní rozdělení bund	13
2.2 Hlavní konkurenti na světovém trhu v oblasti běžeckých bund	14
2.3 Hodnocení a shrnutí základních skupin běžeckých bund	15
2.4 Návrh technických parametrů	16
3. NANOVLÁKENNÁ MEMBRÁNA	17
3.1 Elektrosinning	17
3.1.1 Parametry procesu	18
3.1.2 Vlastnosti polymerního roztoku	19
3.1.3 Polyamid 6	20
3.2 Vlastnosti a charakteristika nanovláknenné membrány	22
3.2.1 Porozita	23
3.2.2 Mechanické vlastnosti	24
3.3 Porovnání nanovláknenné a mikroporézní membrány	25
3.4 Laminace.....	25
3.4.1 Tří-vrstvý laminát	26
4. ZÁKLADNÍ PRINCIPY TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU	27
4.1 Transport tepla a plynné vlhkosti ve vláknenném material	27
4.1.1 Struktura a geometrické vlastnosti media	29
4.1.2 Fázová změna	30
4.2 Transport kapalně vlhkosti ve vláknenném material.....	30
4.3 Hydrostatická odolnost	35
4.4 Propustnost pro vzduch	35
5. VOLBA SVRCHNÍ A PODKLADOVÉ TEXTILIE	36
5.1 Svrchní textilie	36
5.2 Podkladové textilie	37

6. NAVRŽENÁ MĚŘENÍ	38
7. NÁVRH EXPERIMENTU	40
7.1 Testování materiálů	40
7.2 Testování laminátů a predikce výsledků.....	41
8. MARKETINGOVÁ KOMUNIKACE LAMINÁTU S NANOVLÁKENNOU MEMBRÁNOU	42
 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	
9. VÝBĚR SVRCHNÍ A PODKLADOVÉ TEXTILIE	43
9.1 Plošná hmotnost	43
9.2 Paropropustnost a prodyšnost	44
9.3 Zkrápěcí metoda (spray test)	46
9.4 Úhel smáčení.....	47
9.5 Hydrostatická odolnost	48
9.6 Odolnost plošných textilií v oděru	49
9.7 Tahové vlastnosti plošných textilií	50
9.8 Prodyšnost	52
9.9 Vybrané lamináty	52
10. CHARAKTERISTIKA TEXTILIÍ	54
11. LAMINÁTY - MEMBRÁNA 2,5 g.m⁻²	56
11.1 Kombinace A1 - Vrchasilk padákovina + Norsilk tkanina	56
11.2 Kombinace B2 - FOW běžová + Eschler pletenina	58
11.3 Mechanické namáhání laminátu v tahu	59
11.4 Pevnost laminačního spoje	61
11.5 Rizika, porovnání kladů a záporů, návrh další.....	62
12. LAMINÁTY - MEMBRÁNA 4 g.m⁻²	65
13. NÁVRH PREZENTACE VÝROBKU.....	66
ZÁVĚR.....	68
LITERATURA.....	71
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	74
SEZNAM TABULEK	75
SEZNAM PŘÍLOH.....	76

SEZNAM SYMBOLŮ

cca	přibližně
Do	dostava útku
Dř	dostava řádku
Dsl	dostava sloupce
Dú	dostava osnovy
DWR	durable water resistance
FOV	společnost F.O.V.
h	tloušťka
M _p	plošná hmotnost
resp.	respektive
tzn.	to znamená
ZJ	zátažná jednolícni pletenina

ÚVOD

Za posledních několik let se rapidně zvýšilo tempo společnosti. Zrychlil se vývoj, produkce, pracovní nasazení a lidé v této době hledají místo pro odpočinek nebo seberealizaci. S náročností doby jsou náročnější i sami lidé a pro své koníčky hledají specializované vybavení. V této práci se zaměřuji na sportovní oděv, proto zůstaňme ještě chvíli v oblasti sportu. Existuje nespočet sportovních disciplín vyžadujících speciální oděv s konkrétními vlastnostmi, které zachovávají komfort sportovce nebo chrání jeho zdraví. V současnosti je možné koupit profesionální vybavení téměř k čemukoliv, přičemž k profesionálnímu vybavení bezesporu patří i odpovídající oděv.

Mezi základní požadavky patří pocit sucha i při výkonu, nepromoknutí nebo neprofouknutí, uživatelská jednoduchost, moderní design a bezesporu nízká cena. V nedávné historii bylo trendem vyvíjet hydrostatické, ale prodyšné oděvy, které odvedou vlhkost od těla. I tyto parametry jsou již pro zákazníky částečně samozřejmostí a přejí si více. Sportovní trh je velmi segmentovaný a nelze zatím vyvinout univerzální oděv bravurně splňující všechny požadavky. Vždy převyšuje jedna vlastnost nad druhou a je třeba zvážit, která z funkcí oděvu je u daného sportu žádanější.

Jedním z trendů je i vývoj extra lehkých oděvů tak, aby byl sportovec chráněn a přitom nebyl oděvem omezen v pohybu a zbytečně zatěžován. V této práci jsem se zaměřila na vývoj super lehké běžecké bundy, jejíž originalita spočívá v membráně z nanovláken. Základním prvkem je 3-vrstvý laminát, jehož plošná hmotnost pro označení "SuperLight" by měla být nižší, než 100 g.m^{-2} . Vše při docílení přijatelných vlastností termofyziologického komfortu a pevnosti laminátu.

Další předností a zajímavostí laminátu bude snaha o použití českých textilií a vytvoření tak kompletné českého výrobku.

TEORETICKÁ ČÁST

1. NANOTECHNOLOGIE V TEXTILNÍM PRŮMYSLU

„Nanotechnologie je o vytváření produktů z velmi malých prvků nebo subsystémů za účelem zlepšení materiálových vlastností a funkčnosti.“ [1]

Inovace velmi rychle postupuje ve smyslu snižování velikosti produktů. Vysoká minimalizace je dosažena schopností nanotechnologie pracovat na molekulární úrovni tak, že mohou být vytvořeny rozsáhlé struktury s novými vlastnostmi. Nanotechnologie oslovují nejen vědce, ale i obchodníky kvůli svému ekonomickému potenciálu pro textilní průmysl. Je definována, jako „precizní manipulace jednotlivých atomů a molekul za účelem vytvoření vrstvy. Nanotechnologie je dle National Nanotechnology Initiative (NNI) definována, jako struktura s nejméně jedním nanorozměrem.“ [1]

V textilní oblasti se nanotechnologie využívají pro *finální úpravy textilií* a při tvorbě *nanovlákných vrstev* pro různá použití. Mezi finální úpravy tak patří např. úprava hydrofobní, samočistící, UV-ochranná, antibakteriální, bezúdržbová, vodě a oleji odolná, hydrofilní nebo úprava pro zpomalení hoření. Všechny se aplikují na různé druhy vláken.

Samotná nanovlákna vytvořena technologií elektrospinningu mají vyšší specifický povrch, vysokou porozitu a menší póry. Tyto vlastnosti je dělají výjimečnými pro filtrace, zdravotnictví a membránové aplikace. [1]

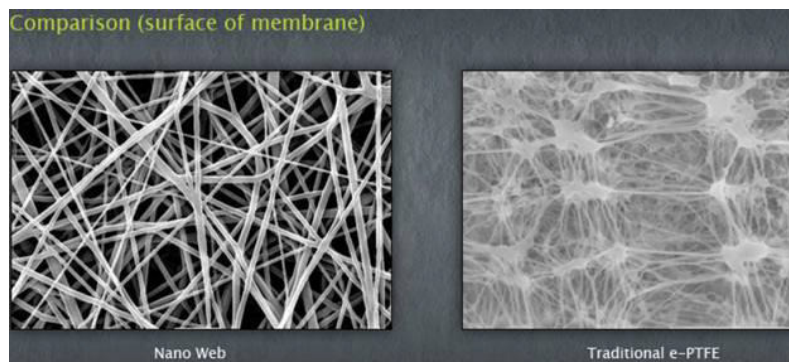
1.1 Situace na trhu s nanotechnologiemi v textilním odvětví

Jak již bylo uvedeno dříve, nanotechnologie se využívá při výrobě samotných vláken nebo při úpravách jejich povrchů. V tomto se skrývá velký potenciál a možnost rozvoje do dalších oblastí. Jako konkrétní příklad uvedu společnost NANOtex s hlavním sídlem v Kalifornii, která aplikuje nanoupravu na oblečení, interiérové textilie a na nábytek v komerčních prostorech. Dále používá hned několik technologií: repelence&zabránění usazení skvrn (zastavení vsakování do textilie, snadná vypratelnost skvrn), odvádění vlhkosti (udržení suché pokožky), kontrola pachu, eliminace statického náboje a omezení

mačkovosti textílie. [2] Dalšími úpravami budoucnosti jsou plazmatické úpravy, ukládání atomových vrstev či štěpení polymerů. [3]

V oblasti nanovláken některé společnosti provozují jejich sériovou výrobu, např. Donaldson Co., Minneapolis; Hollingsworth and Vose, East Walpole.; BASF SE, Germany; Freudenberg Group, Germany; SNS Nano Fiber Technology LLC, Hudson, Ohio. Hlavním zaměřením nanovláknenných vrstev jsou filtrace a absorbenty. Česká společnost ELMARCO začala jako první vyrábět nanovláknata sériově a mimo jiné se zaměřuje na aplikaci nanovláken v akustice, medicíně a bateriových separátorech. [3]

Výzkum ing. Romana Knížka se zaměřuje na využití nanovláknenné vrstvy jako membrány pro outdoorové oděvy. Nanovláknenná membrána svojí strukturou z nanovláken převyšuje vlastnosti mikroporézní membrány i zátěrů. Vyniká nízkou hmotností, avšak na úkor mechanické odolnosti. Proto je potřeba zvolit vhodný polymer, který by podpořil její pevnost a tažnost. Australská společnost Synergy Textiles vyrobila bundu s aplikací polyesterové nanovláknenné membrány, je určena pro motorkáře, s plošnou hmotností 295 g.m^{-2} . Na obrázku jsou dva různé typy membrán zachyceny na snímku z elektronového mikroskopu. Jiná společnost zatím neuvedla oděv s aplikací nanovláknenné membrány na trh a do sériové výroby.



Obr. 1 – Nanovláknenná membrána SynergyTextiles v porovnání s mikroporézní membránou [4]

1.2 Stanovení cíle

Aplikace nanovláknenné membrány pro oděvní účely a sériovou je zcela novým tématem. Cílem práce je tedy vytvořit takový laminát s nanovláknennou membránou, který bude splňovat daná kritéria oděvního komfortu, a který bude možné sériově uvést do výroby při udržitelné míře kvality. Z výsledného laminátu pak bude ušit svrchní oděv, konkrétně bunda, která může být navržena dle několika účelů. Následováním trendu zmenšování objemu a snižování váhy bude navržen laminát s co nejnižší plošnou hmotností, ideálně pod 100 g.m^{-2} . Účelovost této bundy může být variabilní, např. skladná bunda pro náhlou potřebu nebo právě lehká bunda na běh a jinou aerobní aktivitu. V následující kapitole jsem se zaměřila na stávající produkty uvedené na trhu, na jejich vlastnosti a další parametry, abych posléze mohla navrhnout vhodný typ bundy požadovaný trhem a vyhovující super lehkému konceptu.

2. SITUACE NA TRHU S LEHKÝMI A BĚŽECKÝMI BUNDAMI

Znalost trhu, konkurence, kupního chování zákazníků a jejich potřeb je soubor velmi důležitých informací stojících na počátku tvorby nového produktu. Podle známého pravidla marketingu „vyrobit to, co se prodá a ne prodát to, co se vyrobilo“, je řídicí silou pro inovaci lidská potřeba a touha zvyšovat úroveň kvality života.

Z českých a v největší míře ze zahraničních webových portálů jsem nasbírala informace o prodejcích, produktech a podílech svrchních oděvů s nízkou hmotností v jejich sortimentu. Dalšími sledovanými parametry bylo materiálové složení, druh membrány, zátěru nebo povrchové úpravy. Zájem o bundy s nízkou hmotností je podložen tím, že výrobci mají ve své produktové řadě až 2 velmi lehké bundy. Snižování hmotnosti při zachování původních vlastností a hlavně mechanické odolnosti je cestou inovace doby.

2.1 Základní rozdělení bund

Výrobci obecně zveřejňují spíše výslednou hmotnost celé bundy, než její plošnou hmotnost. Hraniční hmotnost pro označení „lehká bunda“ jsem zvolila 400g a tyto výrobky uvažuji, jako konkurenční. Požadavek na bundu s nanovláknennou membránou je plošná hmotnost 100 g.m^{-2} a hmotnost celé bundy maximálně 300 g.m^{-2} . V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé hlavní parametry, jejichž kombinací vznikají různé typy bund.

Tab. 1 - Parametry pro dělení bund na trhu

	Varianta I		Varianta II		Varianta I		Varianta II
a	běh	A	jiná aktivita	e	hydrostatika	E	paropropustnost
b	< 400 g	B	> 400 g	f	nízké teploty	F	vyšší teploty
c	náhlé použití	C	stálé nošení	g	jednoduchý střih	G	kapuce, bedra
d	membrána,zátěr	D	povrchová úprava	h	bez komponentů	H	spec.zip, gumy

2.2 Hlavní konkurenti na světovém trhu v oblasti běžeckých bund

Klíčové parametry jsou pro návrh bund kombinovány tak, aby uspokojily různé potřeby pro odlišné typy počasí (vysoká paropropustnost, vysoká hydrostatická odolnost, nízká prodyšnost a jejich kombinace) a subjektivní požadavky zákazníků (kapuce, kryté zipy, regulace rukávu v zápěstí, kapsy, reflexní prvky). Sestavení parametrů je ovlivněno technologií, cenou a plošnou hmotností bundy.

Následující odstavce se zabývají konkrétními bundami a jejich specifikacemi. U každé bundy je uvedena hlavní vlastnost spolu s technickými parametry a cenou, které výrobce veřejně poskytuje.

a) Lehce složitelné, přenosné, příležitostné

Bundy v této kategorii mají funkci chránit při náhlé změně povětrnostních podmínek. Je požadováno jejich sbalení do malého objemu a možnost efektivní přepravy.

MOUNTAIN HARDWEAR Men's Ghost Whisperer™ Hooded Jacket – velmi jemně spřádaná vlákna, složitelné do kapsy, 79g, 165 \$ [5]

TILAK Skardu bunda – lehce sbalitelná, navržena nejen pro běh, GORE-TEX® Paclite, $\text{Ret} < 4 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$, 380g [6]

MARMOT Speed Light Jacket – objem na minimum, GORE-TEX® ProFabric, 348g, 3-laminát, 100% Nylon [7]

b) Mikroporézní membrána

ARCTERYX Visio FL Jacket – voděodolná/paropropustná, GORE-TEX® Active Shell, 205g, 299\$ [8]

MARMOT Nano JacketUltraLight – pro dlouhé treky, udrží suché bez navlhnutí a zvýšení hmotnosti, GORE-TEX® Paclite, 100% Nylon, 232g [9]

GORE-TEX, GORE RUNNING WEAR® Air GT AS Jacket – bližší údaje neuvedeny [10]

TILAK Attack Active bunda – pohybově náročné activity, GORE-TEX® Active, 320g, 6590kč [11]

c) DWR úprava

MOUNTAIN Men's Effusion™ Hooded Jacket Designed – voděodolná/paropropustná, pružnost, 353 g, 240 \$ [12]

MOUNTAIN Men's Apparition™ Jacket – technologie Wick.Q™ EVAP, efektivní šíření vlhkosti, 173 g, 90 \$ [12]

d) Ostatní technologie

CRAFT Active Run Jacket Mens – pružná, větruvzdorná, 100% PES, 110 g.m⁻² [13]

VAUDE Skyfly Jacket - hydrostatická odolnost 25 mH₂O, paropropustnost 25 000 g/m²/24 h, 100% polyester, polyuretanová membrána, 230 g [14]

MONTANE eVent Spektr Smock – hydrostatická odolnost 30 mH₂O,, paropropustnost 16 000 g/m²/24 h, DWR, 230 g [15]

MONTANE Featherlite Marathon Jacket – DWR, důraz na paropropustnost, reflexní prvky, 136g [16]

Dalšími propagátory a výrobci běžeckého oblečení jsou NIKE a Adidas. Na webových stránkách však neuvádějí technické údaje svých oděvů.

2.3 Hodnocení a shrnutí základních skupin běžeckých bund

Na základě uvedeného průzkumu rozdělují bundy do tří základních uživatelských kategorií.

- I) bundy velmi skladné a snadno přenosné, pro náhlou změnu klimatických podmínek, jednoduchý střih, minimum kapes, klasický zip
- II) bundy do mírných podmínek pro běžecký trénink, kapuce, bederní prodloužení, systém kapes, reflexní prvky
- III) bundy pro delší trasy, náročné klimatické podmínky, kapuce s gumičkovým uzávěrem, systém kapes, kryté zipy, regulovatelné rukávy v zápěstí, vyšší důraz na hydrostatickou odolnost a prodyšnost (při zachování přípustné míry paropropustnosti)

Čím jsou bundy lehčí, tím se zhoršuje jejich hydrostatická odolnost a prodyšnost, protože není možné z důvodu snižování hmotnosti zařadit další ochranné prvky. Předmětem práce

je vyřešit tuto problematiku aplikací nanovláknenné vrstvy plnicí funkci membrány tak, aby byl nositel dostatečně chráněn i pod super lehkou bundou. Nanovláknenná membrána vykazuje velmi nízkou paropropustnost ($1.5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{W}^{-1}$) a 100 % prodyšnost. Hydrostatická odolnost je závislá kromě membrány i na dalších vrstvách laminátu, nicméně dosahuje hodnot až 50 000 mm vodního sloupce. To při plošné hmotnosti cca $5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. [17] Nanovláknům a membráně jsou věnovány následující kapitoly.

2.4 Návrh technických parametrů

Na základě sekundárního průzkumu navrhuji vyhotovení super lehké bundy ve dvou provedeních:

I.) SimpleLight

- jednoduchý střih, pro profesionální trénink nebo náhlou potřebu
- pro tuto variantu není nutné volit nanovláknennou membránu, ale pouze DWR úpravu (produkt je navržen na základě průzkumu pro doplnění produktové řady společnosti)

II.) SuperLight

- kapuce, systém kapes, krytý zip; pro variabilní povětrnostní podmínky, pro delší a náročnější trasy
- laminát s nanovláknennou membránou pro komplexní využití outdoorové a běžecké bundy

V práci se tedy budu zabývat variantou SuperLight a návrhem laminátu s plošnou hmotností menší, než $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Cílová maximální hranice pro hmotnost celého výrobku je 230 g. Vše při zachování co nejideálnějších hodnot oděvního komfortu:

$$\text{Ret} < 4 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{W}^{-1}$$

$$\text{Prodyšnost} < 5 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \text{ při } 100 \text{ Pa}$$

$$\text{Hydrostatická odolnost min. } 8\,000 \text{ mmH}_2\text{O}$$

3. NANOVLÁKENNÁ MEMBRÁNA

V práci týkající se nanovláknenných struktur je třeba se zmínit o významu samotného názvu. Slovo „nano“ pochází z řečtiny, kde je jeho významem „trpaslík“ nebo „starý malý muž“ [18]. „V moderních definicích „nano“ odpovídá fyzické velikosti na škále biliontiny základní jednotky, resp. 10^{-9} . Protože vlákno není jednotka míry, odpovídá název nanomateriál, nanovlákneno nebo nanotechnologie inženýrskému pojetí materiálů, struktur a zařízení, ve kterých je alespoň jeden rozměr menší než 100 nm. Přestože se akademická půda shodla na kritériu 100 nm, komerční sektor uvažuje maximální rozměr pro označení nano až 300 nm. Tento fakt je třeba zvážit při porovnání konkurence a zjišťování situace na trhu. Vedle nanostruktur a nanozařízení se jedná také o nanofotoniku, nanomagnetiku nebo nanobioinženýrství. [18]

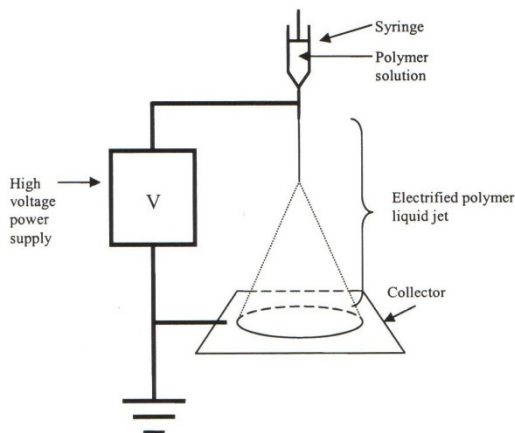
Nanovláknenná membrána pro oděvní účely je vyvíjena ing. Romanem Knížkem na Technické univerzitě v Liberci od roku 2008. Původním polymerem pro výrobu byl polyuretan, který je však nahrazen polymerem s vhodnějšími vlastnostmi pro membránu - polyamidem 6. Membrána je vyráběna technologií elektrospinningu na stroji Nanospider a opatřena hydrofobní úpravou.

3.1 Elektrospinning

„Polymerní nanovláknena mohou být vyráběna řadou technik, jako dloužení, podložková syntéza, fázová separace, samo organizování nebo elektrospinning.“ [19] Pro každou technologii je charakteristický vstupní materiál, který vyžaduje vhodné rozpouštědlo. Z každé technologie vznikají vlákna o charakteristické délce a průměru. Nejvíce druhů polymerů je možné použít v technologii elektrospinningu, kde vlákna vykazují rozměry v rozmezí 3 nm - 10 nm v průměru a řádově několik centimetrů až metrů na délku.

„Proces byl patentován Formhalsem v roce 1934, přičemž nastavení experimentu bylo uvedeno pro výrobu polymerních vláken využitím elektrostatické síly.“ [18] Metoda elektrostatického zvlákňování vhodná pro kontinuální komerční výrobu byla vyvinuta týmem Oldřicha Jirsáka v roce 2003. Základní princip spočívá v dávkování polymeru

rovnoměrně na pás, kde polymer začne stékat po roztavených elektrodách. Na nich se rozežhřívá ještě víc, mění svoji viskozitu a získává elektrický náboj. Poté je přiložen pás s protielektrodou, na který se zachytávají protlačená zelektrizovaná vlákna.[20].



Obr. 2 – Schématické znázornění procesu elektrospiningu [18]

Polymerní kapka z konce pipety je tažena ve vlákno vlivem vysokého napětí. Tento proud je elektricky nabitý a náboj způsobuje, že se vlákna ztenčí, prodlouží a následně pojí. Vlákna jsou sbírána jako síť na podkladovou textilií. Elektrické vlastnosti roztoku, povrchové napětí a viskozita určuje míru prodloužení (stretching). [18]

3.1.1 Parametry procesu

Proces a tedy i výsledné vlastnosti nanovláknenné vrstvy ovlivňuje několik parametrů, které jsou blíže specifikovány v následujících odstavcích. Prvním parametrem je vhodné rozpouštědlo a nastavení vypařovacího tlaku, který musí být zvolen tak, aby se rozpouštědlo nevypařilo příliš rychle nebo příliš pomalu. Toto může ovlivnit průměr vlákna nebo vlastnosti nanovláknenné vrstvy. Dalšími parametry jsou: viskozita, povrchové napětí polymeru, polymerní roztok, intenzita elektrostatického pole a geometrické nastavení procesu.[18]

Napětí

Míra napětí vyšší, než 6 kV způsobuje přetvoření kapky na pipetě v Taylorův kužel. Velikost napětí ovlivňuje i jeho stabilitu. Vyšší napětí znamená větší kolumbovy síly a

silnější elektrické pole, větší protažení roztoku a tedy redukci průměru. Napětí ovlivňuje také to, jak rychle roztok poletí. Nižší napětí znamená delší a pomalejší cestu roztoku, kde vzniká možnost pro prodloužení.

Dávkování

Množství roztoku pro elektrospinning pro dané napětí ovlivňuje průměr vlákna. Tomu se dále musí přizpůsobit intenzita odpařování rozpouštědla.

Teplota

Růst teploty ovlivňuje mobilitu částic, je sníženo povrchové napětí, omezen korálkový efekt. Roztok dosahuje vyššího prodloužení a tedy jemnosti vláken.

Odtah kolektoru

Ovlivňuje rychlost odpařování nebo např. strukturu vrstvy vláken

Vzdálenost mezi tipem a kolektorem

Při malé vzdálenosti nemusí dojít k dostatečnému odpaření roztoku. Zbylý roztok pak na kolektoru způsobuje spojení vláken. Pokud je vzdálenost příliš velká, může naopak dojít k předčasnému vyschnutí roztoku a tedy poškození nebo nesprávnému uložení vlákna.

Vlhkost

Především ovlivňuje efektivitu odpařování, může způsobit ulpívání kapek na vlákně.

Tlak

Tlakem je ovlivněn proud a přemostění v elektrostatickém poli. Nanovláknna mohou být vyrobena v mnoha variantách: porézní, ploché, stuhové, větvené, spirálovité nebo duté [18]

3.1.2 Vlastnosti polymerního roztoku

Povrchové napětí

„Náboj na polymerním roztoku musí být dostatečně velký tak, aby převýšil povrchové napětí roztoku.“ [18] Díky povrchovému napětí kapalina zachovává co nejmenší tvar, což se se zvyšující se teplotou mění (částice začnou kmitat a povrchové napětí roztoku klesá). Když tedy proud roztoku vystřelí z trysky, vyšší povrchové napětí může způsobit rozpad na kapky. Nastává tzv. elektrospaying a na již nanesené vrstvě nanovláken vznikají tzv.korálky. Konduktivita roztoku značí, kolik náboje může roztok přenášet. Když bude

zvýšený počet nábojů v roztoku, zvýší se i protažení roztoku, což vede k tvorbě vláken s malým průměrem. Zvyšování konduktivity také způsobuje žádoucí snížení povrchového napětí.

Rozpustnost polymeru

Polymer s vyšší molekulovou hmotností se déle rozpouští kvůli delším molekulovým řetězcům. Rozpouštědlo hůře difunduje. Spletené polymery se nerozpouští, protože kovalentní vazby mezi molekulami jsou mnohem silnější, než sekundární vazby mezi polymerem a roztokem.

Viskozita

Viskozita představuje míru odolnosti materiálu proti proudění a plynutí. Molekulární hmotnost reprezentuje délku polymerního řetězce, který má také vliv na viskozitu. Když bude viskozita příliš vysoká, roztok by mohl zasychat na jehle a zvyšovat průměr vláken. Při nízké viskozitě proběhne spíše elektrospaying a nastane korálkový efekt. (převládne povrchové napětí).

Odpar

Mají na něj vliv následující parametry: výparný tlak, bod varu, specifické teplo, míra dodávky tepla a povrchové napětí. Pokud se rozpouštědlo nebude dostatečně rychle odpařovat a na kolektoru vznikne tenký film, ovlivní tak výsledné vlastnosti nanovlákněné vrstvy.

Příklad - polyamid 6

Ideální podmínky pro zpracování polyamidu 6: molekulová hmotnost $M_w=17000 \text{ g.mol}^{-1}$, rozpouštědlo: kyselina mravenčí, napětí $U=21 \text{ kV}$, vzdálenost pipety a kolektoru $l=10 \text{ cm}$, podíl vláken s korálkovým efektem 20 – 24 %. [18]

3.1.3 Polyamid 6

Při klasickém zpracování je polymer ve formě roztoku nebo granulátu zvlákněn do šachty a následným dloužením je dosaženo požadovaných vlastností.

Výchozí látkou pro výrobu je fenol, dalšími fázemi jsou cyklohexanol, cyklohexanon, cyklohexanonoxim, dále Beckmannův přesmyk na kaprolaktam:

- OC - (CH₂)₅ - NH - .K polymeraci dochází při smíchání kaprolaktamu s vodou, ohřevem na 220 – 240 °C a následným tavením při teplotě 270°C bez přístupu vzduchu.[21]

Základní vlastnosti polyamidu 6 jsou stručně a přehledně uvedeny v následujících tabulkách 2 a 3.

Tab. 2 - Základní parametry polyamidu 6 [20]

	Tt	sorpce	Pevn.s	Pevn. m	Tažnost s.	Hustota
jednotky	°C	%	cN/dtex	cN/dtex	%	kg/m ³
PA 6	220	3 – 4.5	3.6 – 7.5	80-90% fs	23-55	1140

Tab. 3 - Kladné a záporné vlastnosti polyamidu 6 [21]

PLUS	MÍNUS
Odolnost vůči mechanickému namáhání	Nízká odolnost v krutu
Vysoká pružnost	Malá odolnost vůči zvýšeným teplotám
Nejvyšší odolnost v oděru	Malá odolnost vůči slunečnímu záření
Malá bobtnavost (rychle schne)	Vznik statického náboje
Nízká měrná hmotnost	Nízká navlhavost
Termoplasticita	

Obecně mikroporézní membrána vkládána do laminátu pro oděvní účely by měla mít následující vlastnosti. Z hlediska hydrostatické odolnosti by měla být pevná a tažná. Při působení hydrostatického tlaku jsou namáhány póry, které se na základě reologických jevů vlivem tlakové síly deformují. Dochází tak k tečení a následné relaxaci materiálu. Tažnější materiál je náchylnější k tečení, póry se deformují a hydrostatická odolnost klesá. Těmto podmínkám odpovídá polyuretan, který je nejčastějším polymerem pro výrobu mikroporézní membrány.

Pro paropropustnost a odvod vlhkosti je důležitá navlhavost polymeru. Vlhkost má porézní strukturou prostupovat do dalších vrstev. Pokud by polymer vázal vodu, struktura by bobtnala a prostup vlhkosti by byl zastaven či omezen. Polymer by naopak měl mít vyšší smáčivost, aby byla kapalina po povrchu pórů či vláken odvedena.

Požadavky na nanovláknennou membránu jsou stejné, nicméně základní rozdíl je v tom, že mikroporézní membrána je celek pojený sekundárními silami polymerů a nanovláknenná membrána je vrstva z jednotlivých nanovláken soudržících pouze třecí silou. Vlastnosti zvoleného polymeru se tak projevují v jiných interakcích.

Při volbě polymeru pro nanovláknennou membránu je tedy zohledněna vhodnost polymeru pro zvláknění (teplota tání, tažnost a možnost dloužení pro uspořádání vnitřní struktury), hustota (kvůli výsledné hmotnosti), teplota měknutí (žehlení, praní) a odolnost vůči mechanickému namáhání. Pokud bychom udělali mikroporézní membránu z polyamidu 6, bude mít jiné mechanické vlastnosti, než nanovláknenná membrána z vláken ze stejného polyamidu 6. Výsledná mechanická odolnost vláknenné struktury tak závisí na plošné hmotnosti, délce vláken a jejich jemnosti.

3.2 Vlastnosti a charakteristika nanovláknenné membrány

Vlastnosti vláknenných útvarů se odvíjí od molekulární struktury samotných vláken určující optické nebo tepelné vlastnosti. Mechanické vlastnosti jsou dány krystalickou strukturou, které je ovlivnitelná samotným procesem. Prvním nastavitelným parametrem je napětí při elektrospinningu, dalším je metoda, kterou jsou nanovláknena sbírána.

„Pokud jsou například navíjeny na rotující disk, dochází k narovnání a rovnoměrnému uložení polymerních řetězců. Bylo zjištěno, že krystalinita roste s růstem napětí. Od hodnoty 50 kV však už zase klesá vlivem efektu elektrostatického pole. Vyšší krystalinity bylo také dosaženo při větší vzdálenosti pipety od kolektoru a při vyšších otáčkách kolektoru.“ [18] Vyšší krystalinita znamená urovňování polymerních řetězců, vlákna poté dosahují vyšších pevností a stálejšího tvaru. S podílem amorfních částí roste například tažnost vláken a zlepšuje se jejich barvitelnost. [18]

„Pro získání jednotlivých nebo jednoose orientovaných vláken se využívá válcový kolektor s vysokou úhlovou rychlostí, disk se zúženým okrajem nebo pomocné elektrické pole.“ [19]

3.2.1 Porozita

Pro vláknennou vrstvu specifikovanou jako membrána je jedna z klíčových vlastností její porozita. Póry hrají významnou roli v určení fyzikálních vlastností a mají určující vliv také pro výrobu filtrů a absorbentů. Podle typu určení se navrhuje i složení polymerního substrátu. Může vzniknout buď pórovité vlákno samo o sobě nebo je navržena velikost pórů mezi vlákny v nanovláknenné membráně.

Velikost póru stanovuje, které částice proniknou skrz a které zůstanou zachovány na povrchu. Zatímco porozita určuje celkový tok nebo proud skrz membránu. Velikost póru může být měřena SEM mikroskopem, porozita jako taková však ne. Další nevýhodou je, že je možné zachytit pouze póry na povrchu, nikoliv však uvnitř vrstev.

"Nejběžnější metodou přijatou pro charakteristiku pórů je měření pomocí rtuťového porosimetru. Rtuť nezaplňuje všechny póry najednou. Po působení tlaku, rtuť penetruje do póru, od největšího po nejmenší. Výhodou je, že po určení velikosti póru může být určena i celková plocha velikosti pórů." [18] Velikost jednoho póru je určena následujícím vztahem:

$$D = -4 \gamma \cos \Theta / P \quad (1)$$

kde γ ...povrchové napětí rtuti, Θ ...povrchový úhel smáčení a P ...aplikovaný tlak.

"Hlavním nedostatkem této metody je velmi velký tlak potřebný k proniknutí do malých pórů. Pokud tedy analyzujeme tenké vrstvy, můžeme vrstvu tímto vyšším tlakem zničit. Dalším nedostatkem je toxicita rtuti. Je možno ji v podstatě nahradit jakoukoliv tekutinou, která nebude materiál spontánně smáčet." [18]

Porozitu je však možno spočítat na základě tloušťky, hustoty a plošné hmotnosti vláknenné vrstvy. V případě jednokomponentního materiálu je výpočet následující:

- hustota tkaniny

$$\rho_{\text{tkanina}} = \frac{M_p}{h} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{1}{\text{m}} \right] \quad (2)$$

- zaplnění tkaniny

$$\mu = \frac{\rho_{\text{tkaniny}}}{\rho_{\text{vlákna}}} \quad (3)$$

- porozita tkaniny

$$P_o = (1 - \mu) * 100\% \quad (4)$$

V případě vícekomponentní vláknenné vrstvy musí být uváženy podíly jednotlivých komponent s různými druhy vláken.

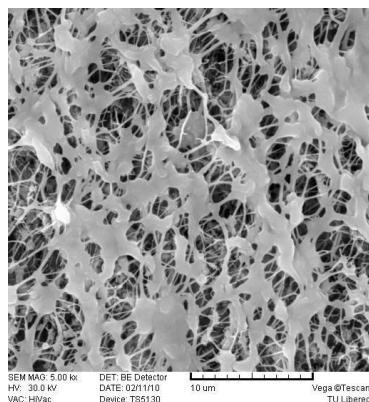
3.2.2 Mechanické vlastnosti

Jednotlivé parametry se u jednotlivých vláken zjišťují vzhledem k jejich rozměrům velmi obtížně. Například pevnost vlákna je měřena tzv. “cantilever technique“, dalším možným měřeným parametrem je ohybová tuhost. Různé pevnosti závisí na kolektoru nanovláken a tedy jejich výsledné tvarové formě (rotující disk – rovnoměrné, plát – náhodné). Pro zlepšení mechanických a dalších vlastností se používají různé povrchové úpravy: fyzický nátěr, štepová kopolymerizace (graft copolymerization) – radiová, plazmová, oxidační, ošetření plasmou nebo chemické ošetření povrchu. [18]

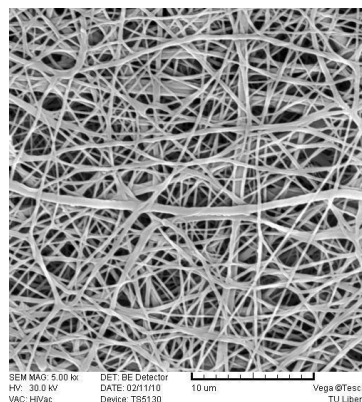
Nanovláknenná vrstva zatěžována samostatně má mechanické vlastnosti velmi slabé. Vzájemné tření vláken je však díky jejich velkému specifickému povrchu vyšší. Protože se membrána laminuje mezi podkladovou a svrchní textilií, sledují se především mechanické vlastnosti v souvislosti s interakcí laminačního substrátu a dvou okolních vrstev při běžném fyzickém namáhání. Mechanické stálosti nanovláken ve formě membrány se docílí dostatečným prolaminováním (počet laminačních bodů na mesh a množství laminačního přípravku). V současnosti je společností NANOPROTEX s.r.o. testována bunda s nanovláknennou membránou (vyšší plošnou hmotností, než uvažuji v této práci) pro běžné nošení a užívání od dubna roku 2012. Exaktní metodou je měření dle normy na mačkavost textilií.

3.3 Porovnání nanovláknenné a mikroporézní membrány

Základní rozdíl mezi běžnou mikroporézní a nanovláknennou membránou spočívá ve velikosti a intenzitě pórů. Póry jsou u nanomembrány menší (ekvivalentní průměr = 0,453 mm) avšak jejich intenzita na danou plochu je daleko vyšší (88 mil./cm²). Je třeba uvážit i horizontální porozitu. Membrána z nanovláken tedy dokáže odvést až dvakrát více odpařeného potu. K intenzitě odpařování přispívá také fakt, že v průměru menší vlákna vykazují ve stejném objemu materiálu vyšší specifický povrch. Odvod vlhkosti po velké ploše je tedy efektivnější. Mikroporézní membrána Gore-Tex má v porovnání hustotu pórů 66 mil/cm² a velikost ekvivalentního průměru = 0,556 mm. [23]



Obr. 3 - Mikroporézní membrána [23]



Obr. 4 - Nanovláknenná membrána [23]

3.4 Laminace

"Cílem laminace je vytvořit multivrstvou konstrukci s vlastnostmi, které jednotlivé vrstvy samotné nemohou dosáhnout. Substrátem mohou být polymerní filmy, membrány, pěny a vlákna samotná." [24] Důležitá je adheze mezi vrstvami, podpořena tepelným, chemickým nebo mechanickým pojením. "Adheze je vzájemná přitažlivost dvou materiálů určena kohezními silami a interakcemi mezi jednotlivými vrstvami." [24] V nejjednodušším případě hladkého rovného povrchu je práce adheze W_a definována jako síla potřebná k oddělení dvou vrstev, vyjádřena na základě povrchového napětí.

"Dalším faktorem je mezifázové šíření polymerních řetězců, za předpokladu vhodných interakcí a afinity mezi dvěma fázemi. Pro molekuly polymeru je pak možné

šířit se po mezifázi a tvořit zapletené struktury s jinou fází. Když teplota materiálu stoupne nad jeho skelný bod, polymery mají vyšší mobilitu, lépe penetrují další vrstvu a adheze je silnější. Při laminaci je tedy velmi důležitá teplota a čas procesu." [24]

Laminační body se nanášejí několika způsoby: ponořením, práškem, nožem či čepelí, dávkovací tyčí, sprejem nebo vyrytím. Samotné pojení laminátu se provádí tavením, suchým vzduchem, vlhkými adhezivy (s pomocí kalandru) nebo ultrazvukově.

3.4.1 Tří-vrstvý laminát

Na základě počtu laminovaných vrstev (včetně membrány) se určuje typ laminátu. 2-laminát se skládá z povrchové vrstvy a membrány, kde však vzniká vyšší riziko jejího mechanického poškození. V 3-laminátu již figuruje spodní vrstva (podšívká), která chrání a stabilizuje membránu. V případě nanovláknenné membrány je podkladová vrstva z důvodu nízké mechanické odolnosti nezbytností, avšak ochrana v jiné podobě může být předmětem dalšího zkoumání. Např. Gore-Tex® Paclite® využívá pro mechanickou ochranu membrány uhlíková vlákna.

Následující kapitola už popisuje, jak laminát figuruje v termoregulaci lidského organismu a zabývá se prostupem tepla, plynné a kapalné vlhkosti skrz vlákenný materiál.

4. ZÁKLADNÍ PRINCIPY TERMOFYZIOLOGICKÉHO KOMFORTU

Termofyziologický komfort závisí na termoregulačním systému organismu a na vhodné konstrukci oděvu. „Je tedy nutné konstruovat oděvy tak, aby jejich schopnost přenosu tepla, kapalně i plynné vlhkosti a někdy i vzduchu zajišťovaly při nošení optimální hodnoty“. [25] Komfortní stav organismu nastává při teplotě lidské pokožky 33-35°C a při nepřítomnosti vody na pokožce. Dalším faktorem ovlivňujícím termofyziologický komfort jsou vnější vlivy, kde se optimální hodnoty pohybují u relativní vlhkosti vzduchu v rozmezí 50±10 %, u rychlosti proudění vzduchu 25±10 m/s a u obsahu oxidu uhličitého v ovzduší na úrovni 0,07 % [25].

Odvod tepla je u lidského organismu zajištěn několika způsoby. Nejdříve dochází k prostupu *tepla* v podobě vedení, proudění nebo záření. Pokud teplo není přeneseno těmito způsoby, člověk začne vylučovat pot, který se začne vypařovat. K přenosu tepla se tak přidává i přenos *vodních par* (evaporace). V další fázi při nedostatečném odvodu tepla a vlhkosti začne pot ulpívat na pokožce a k procesům se přidává odvod *kapalné vlhkosti*.

4.1 Transport tepla a plynné vlhkosti ve vlákenném materiálu

Tepelný a vlhkostní transport je podpořen pohybem vzduchu (větráním) skrz vlákenný materiál. Při aktivním pohybu nositele oděvu se mění jak intenzita ventilace, tak vzduchová mezera mezi pokožkou a textilií. Vedle klimatických podmínek okolního prostředí mají i uvedené parametry vliv na proudění tepla.[26]

Stacionární stav

Při transportu směrem od lidského těla ve stacionárním stavu se textilie stává bariérou tepla a vlhkosti produkovanými kůží a oděvní vrstvy působí, jako izolanty. Vzduch je zachycen v mezeře mezi první vrstvou a kůží a také mezi oděvními vrstvami navzájem. Množství zabředlého vzduchu v těchto mezerách ovlivňuje izolaci celého oděvního systému. Pokud tato vzduchová vrstva roste, roste i míra izolace. Pokud však překročí tloušťku 1cm, izolace začne vlivem přirozeného proudění klesat. [26]

Dynamický pohyb

Vlivem pohybu se s růstem rychlosti okolního vzduchu snižuje mezní vrstva (boundary layer) vyskytující se na povrchu vnějšího oděvu a zároveň pohyb těla vyvolá vnitřní proudění v oděvu. Izolace v tomto případě nezávisí jen na penetraci svrchních vrstev vzduchem, ale také na tom, zda pronikne do mikroklimatu kůže/kontaktní vrstva. Protože vzduch už není stacionární, způsobuje vyšší proudění tepla a výměnu vlhkosti. [26]

Tepelná vodivost

Transport tepla charakterizuje výměnu energie v systému. Je to realizováno vedením, prouděním a zářením. V případě vláknenného materiálu jako multifázového systému se vyskytují všechny jevy v závislosti na konstrukci a na okolních podmínkách. *Vedení* teoreticky probíhá tak dlouho, dokud přetrvává teplotní gradient mezi systémem a okolním prostředím. Když je teplotní gradient malý, i teplo v podobě *záření* je zanedbatelné. Pokud je objemový podíl vláken dostatečně vysoký, prostup tepla v podobě *proudění* je potlačen malými póry. Zdá se, že vedení je nejdominantnějším jevem. Avšak v případě porézních materiálů, kde je objemový podíl vláken nižší, hraje roli i ztráta tepla prouděním.

Vztah mezi vnitřní energií systému a teplotní změnou je popsán tzv. tepelnou kapacitou na jednotku hmotnosti, resp. specifickým teplem. Závislost mezi energií, vzdáleností a teplotou charakterizuje právě *tepelná vodivost* $\lambda [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

Tepelný tok

Základní rovnicí pro *tepelný tok* $q [W.m^{-2}]$ je Fourierův zákon, který vyjadřuje úměrnost mezi tepelnou vodivostí a teplotním gradientem při dané hnací síle.

$$q = -\lambda \cdot \Delta T^{-1} \cdot \Delta x^{-1} [25] \quad (5)$$

Tepelný odpor

Parametr závislý na tepelné vodivosti a na tloušťce vrstvy je *tepelný odpor* $R [m^2K.W^{-1}]$, kde:

$$R = h \cdot \lambda^{-1} [25] \quad (6)$$

Dále se užívá 'tog', kde $1 \text{ tog} = 0,1 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$ a 'clo' definované Gaggen (1941) [26]. 1 clo je ekvivalentní míře izolace potřebné k uchování sedícího muže s pocitem komfortu ($t=21^\circ\text{C}$, rychlost větru $0,1 \text{ m/s}$) oblečeného v "business suit", $1 \text{ clo} = 0,1555 \text{ [m}^2\text{K.W}^{-1}\text{]}$. [25]

Výparný odpor

„Propustnost textilií pro vodní páry se obecně nejčastěji hodnotí pomocí výparného odporu $Ret \text{ [Pa.m}^2\text{/W]}$ “ [25] Proces vypařování termoreguluje organismus a mimo jiné závisí na rozdílu parciálních tlaků vodních par na povrchu pokožky a ve vnějším prostředí. Celkový výparný odpor se skládá z výparného odporu oděvu a výparného odporu mezní vrstvy. [27]

Dříve užívaná jednotka $\text{g/m}^2/24\text{hod}$ se pak označuje jako propustnost vodních par a je měřena podle ASTM E96-BW a ISO 2528. Nevýhodou této jednotky je okolnost, že z ní není ihned patrné, při jaké vlhkosti vnějšího vzduchu k příslušné propustnosti dochází“ [25]

4.1.1 Struktura a geometrické vlastnosti média

Uvedené procesy jsou závislé na postavení, velikosti a orientaci vláken. Určujícími jsou tedy parametry, jako specifický povrch vláken, objemový podíl nebo porozita textilie. "Póry formované mezi vlákny mají různé velikosti a tvary, které utváří kapilární geometrii pro transportní funkce. Jejich tvar a velikost však nejsou konstantní, mění se během transportního procesu vlivem působení tepla a tekutin." [26] Dalšími faktory jsou například bobtnání vláken nebo způsob jejich pojení.

Vlastnosti systému v jakémkoliv daném směru jsou určeny množstvím vláken v tom daném směru měření. Existuje isotropický systém se stejnou orientací vláken a anizotropický systém s různou orientací. "Lokální koncentrace vlákno/vzduch se bude lišit v technologiích zpracování, orientací a uložení vláken, přestože absolutní vlákenný a vzduchový podíl zůstávají konstantní." [26]

4.1.2 Fázová změna

"Struktura textilie se skládá z vláken (pevná látka) a ulpívajícího vzduchu. Schopnost textilie přenést suché teplo je velmi ovlivněna tímto množstvím zachyceného vzduchu, zatímco přenos vodních par je ovlivněn objemem vláken a jejich postavením. Vlákná představují překážku v pohybu molekul vodních par a směřuje to k nárůstu výparného odporu." [28]

Když vlákno absorbuje vlhkost, generuje teplo. Teplota vlákna se zvyšuje, výsledkem je nárůst tepelného toku a pokles latentního tepla napříč textilií. Opačný jev se koná v případě desorpce vodních par. Absorpce či desorpce vlhkosti závisí na relativní vlhkosti mikrovrstvy (pokožka/textilie) a na typu vlákna. [26]

Kondenzace vlhkosti dále nastává, když je dosaženo nasycení výparného tlaku. "Za předpokladu stejného výparného tlaku, bod nasycení je nižší v malých pórech, takže voda kondenzuje uvnitř póru. To znamená, že nejužší póry budou naplněny jako první zkondenzovanou kapalinou." [26] Kondenzace pokračuje až do fáze, kdy výparný tlak vody v okolní plynné fázi se rovná výparnému tlaku uvnitř póru.

V případě, že už dojde na oděvu ke kondenzaci, paropropustnost textilie klesá a pot ulpívá na pokožce. Zároveň se oděv stává těžším a na pokožku se přitlačuje. Důležité je tedy sestavit oděvní vrstvy tak, aby vlhkost byla odvedena na povrch, kde již může být efektivně odpařována.

4.2 Transport kapalné vlhkosti ve vlákenném materiálu

Tok vody v pevných porézních materiálech je popisován hydrochemickou, resp. rovnicí kontinuity, rovnicí o zachování sil nebo reologickými jevy. Tyto zákony mohou být značně zkomplikovány aplikací do prostředí vlákenného materiálu. Např. nízká rychlost, nízká viskozita a malý přítok kapalin způsobují interakce mezi kapalinami a pevnými látkami.

Dalším pozorovaným parametrem je již zmíněná fázová změna. Kapalina v plynném stavu může ve vlákenném materiálu zpět kondenzovat na tekutinu, která způsobuje absorpci vlhkosti, odpovídající změnu vlastností a vznik sorpčního tepla. [26]

Atmosferický a parciální tlak

Tzv. suchý vzduch, který nás obklopuje má určité procentuální složení prvků. Za daných atmosferických podmínek bude suchý vzduch absorbovat vodu = vzdušná vlhkost. Vypařování vody je kompletně nezávislé na vlhkosti vzduchu a chová se podle Daltonova zákona Parciálních tlaků. Celkový atmosferický tlak je složen tedy ze dvou na sobě nezávislých tlaků zastupujících kapalnou $w(water)$ a plynnou $g(gass)$ složku.

$$p_{atm} = p_g + p_w \quad (7)$$

"Vypařování je teplotně aktivovaný proces, kdy molekuly vlivem zvýšené aktivity uniknou z vazby a jsou absorbovány plynem." [26] V soustavě organismus / oděv uvažujeme nasycený parciální tlak na povrchu lidské pokožky a aktuální parciální tlak prostředí. [25]

Poměr koncentrace vodních par ve vzduchu vyjadřuje procentuální nasycení RH, kde p_v je aktuální množství par v jednotce objemu vzduchu a p_{vs} je množství nasycených vodních par. Potom platí vyjádření podílu nasycených a nenasyčených tlaků *relativní vlhkost* (relative humidity RH).

$$RH(\%) = (p_v/p_{vs}) \times 100 \%. \quad (8)$$

Gradienty ΔP mezi tlaky u pokožky P_k a v okolí P_o jsou hnací silou pro vlhkost:

$$\Delta P = P_k - P_o \quad (9)$$

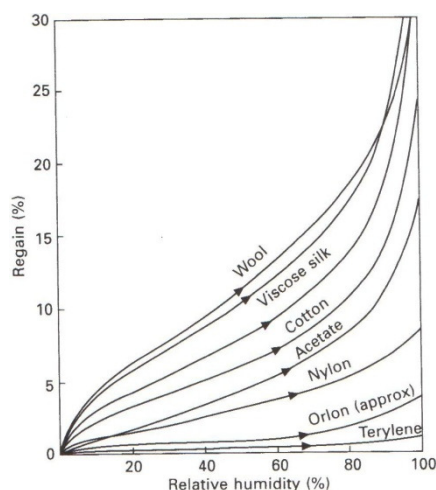
Rosný bod (Dew-point)

Při zvyšující se teplotě dochází k růstu kinetické energie, více molekul může uniknout z povrchu a nasycený výparný tlak (saturated vapour pressure) odpovídajícím roste. Skupenství vody má bod varu a bod mrazu. Dalším je rosný bod, tedy teplota, kdy při ochlazování za konstantního tlaku a bez kontaktu s kapalinou při určité pozorované teplotě

dochází k absolutnímu nasycení vzduchu vodními parami, resp. $RH=100\%$. Pokud tedy teploty spadnou pod tento bod, pára začne kondenzovat do tekutého stavu. [26]

Sorpční izoterma

"Určení sorpční izotermy je základním přístupem pro charakterizování interakcí mezi vodou a pevnými látkami. Kompletně suchá textilie je vystavována atmosferickému tlaku o různých vlhkostech a je měřen váhový nárůst textilie, tímto je získána adsorpční izoterma." [26] Naopak desorpční izoterma je zkonstruována na základě měření váhových úbytků vlhkých textilií vystavenému okolnímu vzduchu. Sorpční izotermy jednotlivých typů vláken jsou znázorněny v následujícím grafu. Nejvíce navlhává je vlna, polyamid vykazuje nižší navlhavost.



Obr. 5 Sorpční izoterma, graf závislost přírůstku vlhkosti materiálu an relativní vlhkosti okolí [26]

Průběh sorpce má vliv na bobtnání vláken a na teplotu vznikající na základě energie uvolněné při sorpci.

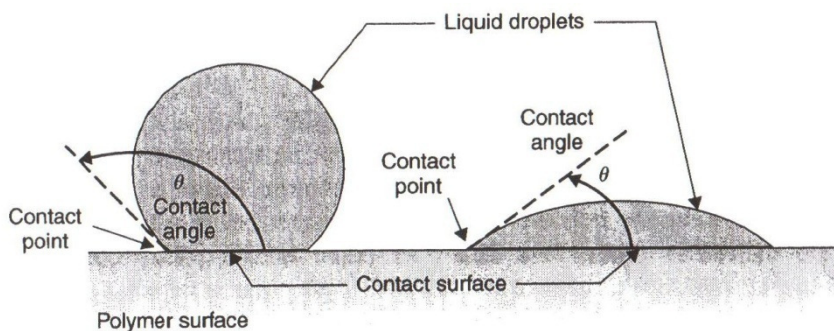
Povrchové napětí, smáčení

Fyzikálním základem uvedených jevů jsou molekulární interakce mezi pevnou látkou, vzduchem a kapalinou. Povrchové napětí je výsledkem působení sil mezi zmíněnými fázemi. Při aplikaci kapky na povrch pevné látky dochází k částečnému smočení pod

úhlem Θ nebo k úplnému smočení s nulovým úhlem. Rovnovážný stav na hranicích je dán Youngovým vztahem:

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} - \gamma_{LV} \cos\Theta = 0 \quad [26] \quad (10)$$

Zde jsou jednotlivá rozhraní značena γ_{SV} solid/vapor (pevná látka/vzduch), γ_{SL} solid/liquid (pevná látka/kapalina) a γ_{LV} liquid/vapour (kapalina/vzduch), mezi kterými vzniká kontaktní úhel $\cos\Theta$.



Obr. 6 Znáznornění úhlů vyjadřujících smáčení [26]

Mezi molekulami působí van der Waalsovy síly, které způsobují soudržnost všech sousedních molekul. Molekuly na povrchu, které nejsou obklopeny molekulami stejného typu ze všech stran, vykazují ke svým sousedním molekulám o to větší sílu. (např. na hranici voda vzduch). Toto je popsáno jako povrchové napětí.

Mezimolekulární síly se nazývají adhezivní a jsou zodpovědné za smáčení. Smáčení samotné znamená "spontánní tok kapaliny v porézním materiálu, řízen kapilárními silami." [26] "Povrchové napětí kapaliny způsobuje rozdíl tlaků po zakřivenému rozhraní kapalina/vzduch." [26]. Hodnota tlakového rozdílu sférického povrchu je určena Young-Laplaceovou rovnicí pro pór s kruhovým průřezem R :

$$\Delta P = 2\gamma_{LV}/R \quad [26] \quad (11)$$

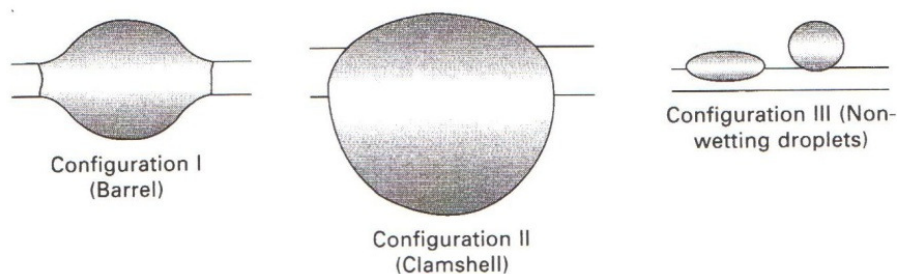
$$R = r / \cos\Theta \quad [26] \quad (12)$$

Smáčení rovného a hladkého povrchu je však velmi ideální případ. Ve skutečnosti se jedná o zakřivenou, složitou a křivolakou strukturu s jemným nebo hrubým povrchem, což komplikuje studii kapilárních jevů. Vedle několika variant, jak popsat působící síly a tlaky byl pro účely výzkumu převzat Darcyův zákon. Resp. empirický vzorec, který popisuje laminární a ustálené proudění skrz porézní médium za podmínek gradientu tlaků Δp a určité vnitřní paropropustnosti K :

$$u = -\frac{K}{\mu} \Delta p [26] \quad (13)$$

kde u je průměrná rychlost vypařování a μ značí newtonskou viskozitu kapalin. Tento princip platí na makroskopické úrovni. Pro mikroskopickou úroveň jsou vytvořeny počítačové simulace.

Kapalina, která smáčí hladký rovný povrch nemusí smáčet stejně intenzivně stejný materiál s hrubším povrchem. Kromě nesmáčivých sférických kapek o různém poloměru může tedy vzniknout i „kapky“ ve tvaru barelu (Barrel) a škeble (Clamshell) znázorněné na následujícím obrázku.



Obr. 7 Typy kapek [26]

Tyto tvary jsou nevhodné pro filtraci, kdy s kapalinou mají odcházet i pevné částice. V případě kapky Barrel totiž částice v kapce vlivem gravitace sklouzne po vlákne dolů a kapka Clamshell se s další zátěží od vlákna odpoutá a k pohlcení a odvodu částice nedojde.

4.3 Hydrostatická odolnost

Hydrostatickou odolnost textilií vyjadřujeme výškou vodního sloupce, který je charakterizován tlakem vody působícím na textilií zvenjšku. Vodní sloupec udává množství vody vyjádrené v *mm, cm nebo m*, které pusobí na textilii plochou 100 cm². Pro představu můžeme podle Pascalova vztahu odvodit následující:

$$p = h \cdot \rho \cdot g \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (13)$$

Kolika pascalům odpovídá 1 mH₂O? Jednoduše dosadíme:

$$p = 1 \cdot 1000 \cdot 9,807 = 9807 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (14)$$

Výška 1 mH₂O se přibližne rovná tlaku 9807 Pa, kde konstantou pro přepočet hodnot je přibližně 0,000102. [27]

4.4 Propustnost pro vzduch

U membrán je žádoucí, aby jejich propustnost pro vzduch neboli prodyšnost byla nulová. Lze ji snadno změřit např. na přístroji FX 3300. „Jeho princip spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma povrchy testované textilie a měření takto vyvolaného průtoku vzduchu“ [1]. Tlakový rozdíl je nejčastěji 100 Pa a množství vzduchu se uvádí jako objem vzduchu v litrech *l*, který pod daným tlakem prošel plochou *m*² za sekundu *s*, resp. [*l.m*⁻².*s*⁻¹]. Předpokládaná prodyšnost vzduchu je minimální, až nulová.

5. VOLBA SVRCHNÍ A PODKLADOVÉ TEXTILIE

Volba laminačních textilií pro super lehkou, běžeckou, resp. technickou bundu je ovlivněna především plošnou hmotností. Obecně důležitými parametry pro výběr vhodných tkanin jsou: materiál, dostava, vazba, jemnost vláken, tloušťka, příp. povrchová úprava. Z těchto parametrů můžeme dále odvodit hustotu tkaniny a porozitu.

Pro outdoorové oděvy se pro svrchní vrstvu volí většinou vazba ripstop z polyesterových multifilů. Pro podšívky je pak typická filetová pletenina nebo fleece. V této práci volím co nejlehčí variantu laminátu. Proto se nebudu ve výběru omezovat pouze na pleteninu, ale uvážím i tkaninu s jednoduchou vazbou, která při stejném typu vláken měla být z pohledu provázanosti a spotřeby materiálu lehčí. Nejčastějšími materiály jsou kvůli svým mechanickým vlastnostem polyester a polyamid.

Na trhu je spousta společností, které se zabývají tkaním outdoorových tkanin nebo pletením nejrůznějších podšívek a funkčních oděvů. Pro diplomovou práci jsem vybírala materiály z dostupné škály výrobců.

5.1 Svrchní textilie

Prvními požadavky pro výběr byla nízká plošná hmotnost a dostatečná mechanická odolnost. Měla jsem možnost testovat textilie výrobce F.O.V. a Silk&Progress.

F.O.V. ze švédského Borås se zabývá produkcí high-tech textilií pro oděvní i průmyslové využití. Hydrostatická odolnost při zachování paropropustnosti nebo snadná údržba jsou téměř samozřejmostí, F.O.V. přidává produktové řady zaměřené na zvýšenou odolnost proti větru, odvod par, rychlé schnutí nebo odolnost proti UV záření. Firma se zabývá tkaním, barvením, finálními úpravami i laminací. [29]

Česká společnost Silk&Progress se specializuje na super jemné tkaniny a síta ze syntetických monofilů, dále na padákoviny, tkaniny na batohy, obecné a specifické tkaniny nebo i osnovní stávkové pleteniny. Padákoviny mají velmi nízkou plošnou hmotnost a z podstaty svého zaměření jsou vysoce odolné vůči prostupu vzduchu a mechanického

namáhání. Pro laminát na super lehkou bundu jsou perspektivní alternativou, kde další především termofyziologické vlastnosti jsou předmětem testování v této práci. [30]

K dispozici jsem měla navíc dalších 5 podšívek a 15 svrchních tkanin (Silk&Progress), abych mohla vybrat další vhodné textilie nebo eventuálně porovnáním potvrdit dobrou úroveň těch vybraných.

5.2 Podkladové textilie

Pro podkladové textilie byly k dispozici zmíněné osnovní pleteniny od Silk&Progress a také jemná tkanina na technické síto, jejíž průměry vláken jsou v řádech desítek až stovek mikrometrů.

Švýcarská společnost ESCHLER se specializuje na funkční textilie, resp. spodní prádlo, oděv pro sport, pracovní oděvy a technické textilie. Má vlastní oděvní systém "ecs" nebo-li "eschler comfort system", který je složen klasicky z absorpční, izolační, ochranné a super ochranné vrstvy. [31] Právě z jejich řady pro absorpční vrstvu jsem měla k dispozici pleteniny.

6. NAVRŽENÁ MĚŘENÍ

Paropropustnost

Měří se na tzv. skin modelech, které simulují pocení lidského těla. Jedním z nich je PERMETEST, na kterém byla paropropustnost v této práci měřena „Základem přístroje je vyhřívaná a zvlhčovaná porézní deska označovaná jako „model kůže“ sloužící k simulaci procesu přenosu tepla a hmoty, ke kterým dochází mezi lidskou pokožkou a okolím“.[25]

Norma pro měření paropropustnosti ČSN EN 31092 (50 0819).

Prodyšnost

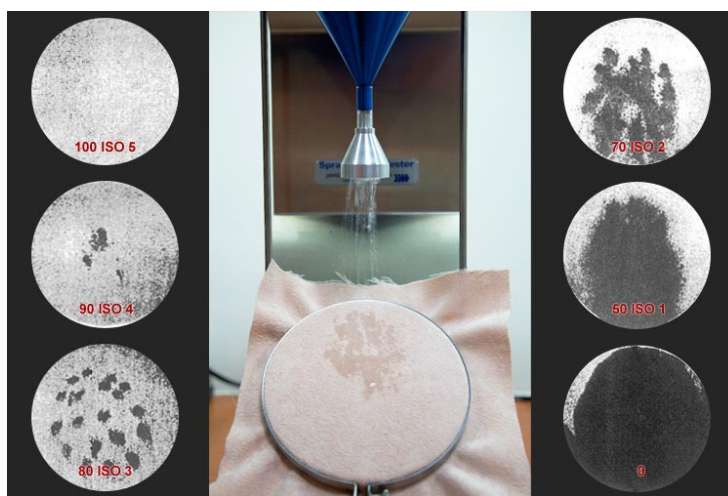
Odolnost vůči propustnosti pro vzduch byla měřena na přístroji dle normy FX 3300 ČSN EN ISO 9237 při tlakovém spádu 100 Pa s výstupem $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Hydrostatická odolnost

Měření hydrostatické odolnosti v této práci podléhají normě ČSN EN 20811. Přesný název normy zní: „Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody.“

Spray test

Jedná se o laboratorní napodobení dopadání kapek vody a smáčení textilie, ČSN EN 24920.



Obr. 8 - Spray test a normované úrovně smočení [32]

Pevnost, tažnost, prodloužení

Zkoušky probíhají na stroji Testometric za podmínek měření dle ČSN EN ISO 1394-1 (80 012). S upínací délkou 20 cm.

Oděr

Přístroj Martindale odírá textilií po nastavené křivce po normované vlněné tkanině dle normy ČSN EN ISO 12947. Zkouška končí protržením vazného bodu nebo dosažením 50 000 otáček.

Přilnavost povrstvení

ČSN EN ISO 2411 80 0830. Standardně se v této normě měří pevnost lpění vrstev v laminátu nebo kompozitu, kde samotná vrstva lze uchopit spolu s jednou z textilií do čelistí dynamometru a měří se pevnost lpění vůči třetí vrstvě. U nanovláknenné membrány je pevnost lpění tak vysoká a nanovláknenná membrána tak jemná, že ji od jedné z podkladových textilií oddělit nelze. Uvažuji tedy, že od sebe odděluji svrchní a podkladovou textilii, kde pojivem je právě membrána. Tímto zjistím vzájemnou stabilitu vrstev a minimální sílu, při které může dojít k jejich rozpojení.

Tloušťka

Tloušťka textilie je měřena dle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844) a použije se k výpočtu hustoty tkaniny, posléze porozity.

7. NÁVRH EXPERIMENTU

7.1 Testování materiálů

U dostupných textilií zjistím plošnou hmotnost, která je směrodatným ukazatelem. Pokud požaduji, aby výsledný laminát měl méně, než 100 g.m^{-2} , jednoduše mohu stanovit maximální hmotnostní hranice jednotlivých vrstev. Plošná hmotnost samotné membrány je v průměru 5 g.m^{-2} , po připočtení laminačního lepidla uvažuji dalších 10 g.m^{-2} nezbytné hmotnosti. 50 g.m^{-2} navrhují horní hranici pro svrchní textilií a 40 g.m^{-2} pro podšívku. Pokud budou textilie dosahovat jen o několik gramů více, ponechám je v sérii měření, porovnáám jejich další vlastnosti a rozhodnu podle nich.

Následujícím krokem je zjištění termofyziologických vlastností. Výparný odpor nižší, než $4 \text{ Pa.m}^{-2}.\text{W}^{-1}$ je označován, jako "velmi dobrý". Podšívky budou mít paropropustnost vzhledem k vazbě přirozeně nízkou.

Nízká prodyšnost svrchní textilie je žádoucí, měla by eliminovat prodyšnost celého laminátu. Není však v tomto případě rozhodujícím parametrem, protože většinu přicházejícího vzduchu by měla zastavit membrána samotná.

Dříve, než přistoupím k měření vodního sloupce, je výhodnější provést spray test, kde během několika sekund zjistím, jak textilie smáčí. Pokud se tedy textilie smočí ihned, nemá cenu ji testovat na vodní sloupec."

Ostatní vrstvy na hydrostatickou odolnost otestuji, přestože samotné textilie bez povrchových úprav dosahují nízkých vodních sloupců, řádově v centimetrech. Velmi lehká membrána nedosáhne tak vysokých vodních sloupců, a proto je hydrostatická odolnost pomocných a ochranných svrchních vrstev důležitá a může zvýšit odolnost celého laminátu. Uspokojivý vodní sloupec svrchních textilií, resp. minimální hranici stanovují na $30 \text{ cmH}_2\text{O}$.

Pokud by materiály dosahovaly podobných výsledků a výběr by byl nejednoznačný, dalším kritériem je odolnost vůči oděru, tedy počtu otáček do porušení vazného bodu. Ostatní vlastnosti doplňují kompletní údaje o textilií a případné vychýlené hodnoty je třeba zvážit při výběru laminátu.

7.2 Testování laminátů a predikce výsledků

Vybrané kombinace textilií nechám slaminovat s nanovláknennou membránou a lamináty podrobím podobným zkouškám, jak samotné textilie. V první řadě změřím plošnou hmotnost, poté paropropustnost, prodyšnost a vodní sloupec. Dále tloušťku laminátu, ohybovou tuhost a pevnost spoje (resp. lpění vrstev uvedené dříve).

Praní ani jiné stálosti nanovláknenné membrány nebudou součástí práce, protože samotná membrána byla z těchto hledisek testována při svém vývoji a navržena tak, aby uvedeným parametrům vyhovovala.

Předpokládám snížení plošné hmotnosti bundy na 90 g.m^{-2} a méně. Komfortní charakteristiky by měly být v obou případech stejné nebo alespoň velmi blízké. Paropropustnost odhaduji na $3\text{--}4 \text{ Pa.m}^{-2}.\text{W}^{-1}$, prodyšnost na $5\text{--}6 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a míru vodního sloupce na $800\text{--}1000 \text{ cmH}_2\text{O}$.

V závislosti na výsledných hodnotách je možné změnit parametry membrány, změnit textilie a na základě nových zkušeností vytvořit jiný laminát lépe splňující požadavky.

8. MARKETINGOVÁ KOMUNIKACE LAMINÁTU S NANOVLÁKENNOU MEMBRÁNOU

Produkt má smysl, pokud ho lidé dále aktivně využívají. Kompletní zavedení nového produktu na trh by obsahově zajistilo další samostatnou práci. Dlouhodobě však chovám myšlenku, jak přiblížit potenciálnímu zákazníkovi správné informace o vlastnostech specifického oděvu. Jak tedy super lehkou bundu s nanovlákennou membránou sportovcům a lidem přiblížit a efektivně prezentovat její přednosti? Konkrétní návrhy lze vyjádřit až po zhotovení laminátu, následující odstavec se věnuje teoretickému základu.

Aby byl výrobek efektivně prezentován, je potřeba zodpovědět základní otázky: v čem spočívají přínosy nabízených produktů, jaké zákazníky má produkt oslovit, proč by měli zákazníci produkt kupovat, jaké informace jsou pro zákazníka klíčové nebo jakými sdělovacími prostředky mají být zákazníci osloveni.

Nanovlákenné produkty jsou obecně vzrůstajícím trendem a novinkou mezi běžnými spotřebiteli. Konkurence v rámci dílčího trhu či segmentu není tak rozvinuta, jak v jiných oblastech. Míra informovanosti klienta o nových technologiích může být handicapem i výhodou. Výrobci tak vzniká vedle velkého prostoru pro kreativitu i zodpovědnost přijmutí nové technologie společností.

Jedním z témat vztahující se ke komunikaci se zákazníkem je korektnost a srozumitelnost uváděných parametrů a vlastností oděvu. Konkrétním příkladem jsou různé jednotky veličin zavádějícím způsobem uvedené tak, aby požadovaná hodnota byla co nejatraktivnější. Dále nejsou uvedeny podmínky, za kterých měření probíhá nebo jsou hodnoty jednoduše nadsazeny. Mým cílem je tedy korektní, jednoznačná a srozumitelná komunikace klíčových údajů o oděvu.

Výstupem praktické části bude tedy návrh komunikace superlehké bundy založená na výsledcích měření v praktické části a podmíněna uvedenými pravidly komunikace se zákazníkem.

9. VÝBĚR SVRCHNÍ A PODKLADOVÉ TEXTILIE

Cílem je výběr dvou svrchních vrstev a dvou podkladových vrstev tak, aby byly navrženy dva nejvhodnější lamináty. Tyto lamináty pak budou porovnány mezi sebou a bude navržen výsledný laminát vhodný pro sériovou výrobu.

Následující měření jsou seřazeny podle důležitosti vlastností a jejich vlivu na rozhodování o vhodném laminátu. Jako první měřím plošnou hmotnost, jako směrodatnou veličinu. Textilie, které splní uvedená kritéria budou dále testovány na paropropustnost a prodyšnost, abych případně vyloučila výrazně nedostačující textilie. Vybrané textilie by však už měly mít paropropustnost "velmi dobrou" tzn. menší, než $4 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$.

Druhým stěžejním kritériem je hydrostatická odolnost a smáčení. Pokud budou svrchní textilie velmi smáčet, nejsou vhodné, protože oděv by i po lehkém dešti navlhl, chladil a snížil paropropustnost celého systému.

V případě nerozhodnosti výsledků provedu zkoušku na oděr v ploše, který je důležitý z hlediska uživatelských vlastností. Málo oděru odolné textilie jsou náchylné na fibrilaci vláken, žmolkování nebo přetrh vazného bodu. Tímto se mění vzhled i funkčnost textilie.

Tahové vlastnosti jsou důležitými parametry, pro potřeby práce však zjistím pouze, zda naměřené hodnoty nejsou příliš nízké a zda jsou vyhovující. Přímý vliv tahových vlastností na pozorované parametry konečného laminátu (plošná hmotnost, hydrostatická odolnost) nepředpokládám. Můžou vybraná měření. Navíc přidám měření pevnosti spoje, abych zjistila, jak velkými silami jsou krajní vrstvy s membránou spojeny.

Na základě uspokojivosti výsledků navrhnu další experiment, aby byla vyvinuta opravdu membrána vyhovující technickým i ekonomickým parametrům.

Značení: FOV - Z (zelená), BE (béžová), M (modrá), ČR (černá rip-stop), ZH (hrášková zelená), BÍ (bílá), Č (černá matná), SKL - sklad, H (hnědá), M (modrá).

9.1 Plošná hmotnost

Z dostupných textilií byly vytvořeny vzorky o velikosti 10x10cm a změřeny jejich hmotnosti v gramech. Plošná hmotnost je uváděna v jednotkách $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ a pro převod

jednotek na m^2 tedy platí $100 \text{ cm}^2 = 0,01 \text{ m}^2$.

$$\frac{1g}{100 \text{ cm}^2} = \frac{1g}{0,01 \text{ m}^2} = \frac{100g}{1 \text{ m}^2} \quad (15)$$

Celkem bylo naměřeno 10 svrchních a 3 podkladové textilie (5x ze dvou různých míst). Průměrné hodnoty a jejich směrodatné odchylky s variačním koeficientem jsou v tabulce 4 pro svrchní a v tabulce 5 pro podkladové textilie.

Tab. 4 - Plošné hmotnosti svrchních textilií [$g.m^{-2}$]

	Vrchasilk	FOV Z	FOV BE	FOV M	FOV ČR
Průměr	42,982	48,088	50,262	51,570	51,688
Směrodatná odchylka	0,153	1,717	0,378	1,468	0,187
Variační koeficient	0,004	0,036	0,008	0,029	0,004
	FOV ZH	SKL H	SKL M	FOV BÍ	FOV Č
Průměr	54,338	76,81	84,884	123,942	136,582
Směrodatná odchylka	0,527	0,798	2,891	2,306	0,963
Variační koeficient	0,277	0,01	0,034	0,0186	0,007

Tab. 5 - Plošné hmotnosti podkladových textilií [$g.m^{-2}$]

	Norsilk	Eschler B	Eschler Č
Průměr	21,470	43,37	78,058
Směrodatná odchylka	0,475	0,152	3,203
Variační koeficient	0,022	0,004	0,041

Původní požadavek na svrchní textili byl 50 g.m^{-2} , přijala jsem však hranici 52 g.m^{-2} pro případ, že by tyto textilie vykazovaly výrazně lepší vlastnosti. Dále tedy testuji českou padákovinu Vrchasilk a zelenou, béžovou, modrou a ripstop černou FOV. Pro podkladové textilie vybírám první dvě z tabulky 5 - českou Norsilk a švýcarskou Eschler.

9.2 Paropropustnost

Další zkoušky již pokračovaly na vybraných textiliích. Každý vzorek byl měřen 5x v různých místech textilie při snaze zachování konstantních klimatických podmínek 22°C a

30% vlhkosti. V tabulce 6 jsou zobrazeny výsledky měření paropropustnosti na permetestu.

Tab. 6 - Hodnoty výparného odporu a relativní vlhkosti pro svrchní textilie

	FOV M		FOV Z		FOV BE	
	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$
Průměr	1,300	87,66	1,340	87,2	1,62	84,5
Směrodatná odchylka	0,400	3,189	0,055	0,301	0,217	1,864
Variační koeficient	0,308	0,036	0,041	0,004	0,134	0,022
	FOV ČR		Vrchasilk padákovina			
	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$		
Průměr	1,640	84,44	2,16	72,6		
Směrodatná odchylka	0,219	2,257	0,422	3,870		
Variační koeficient	0,134	0,027	0,195	0,053		

Tab. 7 - Stejně hodnoty pro podkladové textilie

	Norsilk		Eschler B	
	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$
Průměr	0,400	93,54	0,720	92,72
Směrodatná odchylka	0,071	1,148	0,164	1,622
Variační koeficient	0,177	0,012	0,228	0,018

Nejnižšího výparného odporu dosahuje FOV modrá, přestože měla spíše vyšší plošnou hmotnost a předpokládala bych i vyšší výparný odpor. Druhá v pořadí s nejnižším výparným odporem je FOV zelená, která měla i druhou nejnižší plošnou hmotnost. Tímto se FOV zelená zdá být zatím nejvodnější textilií. O přibližně tři desetiny horší výparný odpor vykazují FOV béžová a FOV černá. V porovnání opět s plošnou hmotností jsou mezi nimi rozdíly přibližně jednoho gramu. Pro výběr textilie tak budou směrodatné zkoušky, jako hydrostatická odolnost nebo oděr.

Nejlehčí padákovina má nejvyšší výparný odpor $\text{Ret} = 2,6$. Nízká hmotnost je však důležitějším parametrem, protože uvedená hodnota výparného odporu je z vybraných textilií nejhorší, je obecně velmi dobrá. Z uvedeného měření vyplývá, že vhodnými

textiliemi pro laminát jsou v této fázi FOV zelená, modrá, béžová a padákovina Vrchasilk z výše zmíněných důvodů.

Podšívka Norsilk díky jemnosti vláken a plátňové vazbě klade velmi nízký výparný odpor, naopak pletenina Eschler kvůli své struktuře vykazuje o necelou polovinu vyšší výparný odpor. Charakter podšívek je tedy jednoznačný. Tkanina Norsilk s 21,47 gramy a téměř 94%-ní paropropustností je nejvhodnější z uvedených textilií pro konstrukci super lehkého laminátu.

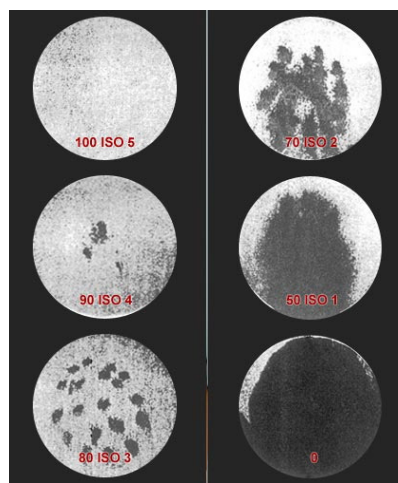
Pleteninu Eschler však ve výběru ponechám, abych mohla pozorovat rozdíl vlastností výsledného laminátu mezi tkaninou a pleteninou v podkladové vrstvě.

9.3 Zkrápěcí metoda (spray test)

Tuto zkoušku zařazuji před hydrostatickou odolnost proto, že částečně předurčí její výsledky. Pokud je textilie hodně smáčivá (50 ISO 1 až 0), vodní sloupec bude dosahovat nulových hodnot až několik centimetrů (cca max.10 cm). Pro připomenutí obrázek 9 opět znázorňuje normovanou míru smočení a tabulka 8 již konkrétní výsledky od nejodolnější po nejsmáčivější textilií.

Tab. 8 - Míra zkropení textilií

Textilie	Zkropení
Svrchní	
FOV béžová	90 ISO 4
Vrchasilk	80 ISO 3
FOV černá	80 ISO 3
FOV zelená	50 ISO 1
FOV modrá	0
Podkladové	
Norsilk	50 ISO 4
Eschler bílá	70 ISO 2



Obr. 9 - Normované znázornění zkropení

Dosud nejvhodnější zelená textilie se při této zkoušce projevila, jako velmi smáčivá. A to natolik, že bude v případě velmi malého vodního sloupce vyřazena z výběru. Stejně tak modrá, která má nejnižší výparný odpor, podléhá kompletnímu smočení, což je nepřijatelné. Nejvhodnější kombinaci vlastností (se zohledněním předchozích zkoušek) mají tak první tři uvedené textilie a to béžová, padákovina a černá. Zúžení výběru bude potvrzeno měřením hydrostatické odolnosti.

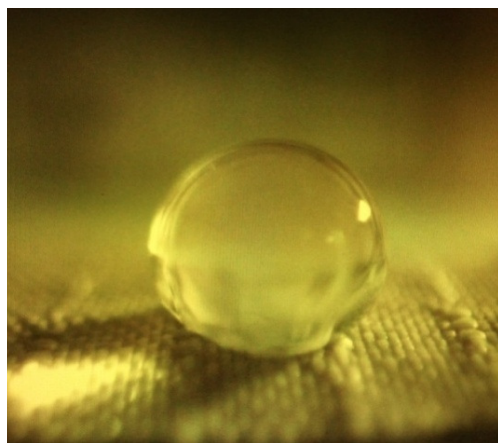
V případě podšívek pletenina smáčí méně. U tkaniny je dostava hustější, zkrápěním však je překonáno povrchové napětí vody ulpívající v pórech.

9.4 Úhel smáčení

Jedná se o alternativní nedynamickou metodu, kdy je na textilií aplikovaná kapka o definovaném množství destilované vody. Pozoruje se úhel, který svírá tečna kružnice, kterou kapka vytváří s rovinou textilie. Čím vyšší je tento úhel, tím vyšší je i povrchové napětí na kapce, která pak zaujímá tvar blízký ideálnímu kruhu. V tabulce 9 jsou hodnoty jednotlivých úhlů a na obrázku 10 je znázorněna kapka, jak ji snímá přístroj.

Tab. 9 - Úhly smáčení

Textilie	Úhel smáčení °
Svrchní	
Vrchasilk	134
FOW béžová	128
FOW černá	122
FOW modrá	(vsáknuto 4 s)
FOW zelená	(vsáknuto ihned)
Podkladové	
Norsilk	116
Eschler bílá	111 (vsáknuto 32 s)



Obr. 10 - Zobrazení měřené kapky

První tři zmíněné textilie mají největší úhel smáčení, jsou tedy nejméně nasákavé a kapka se na jejich povrchu nerozpíná. Tato vlastnost se projeví při lehkém dešti, kdy se na povrchu bundy objeví kapky, které se nevsáknou a nezvýší tak tepelnou vodivost oděvního systému. Tyto textilie jsou vhodnými materiály pro laminát.

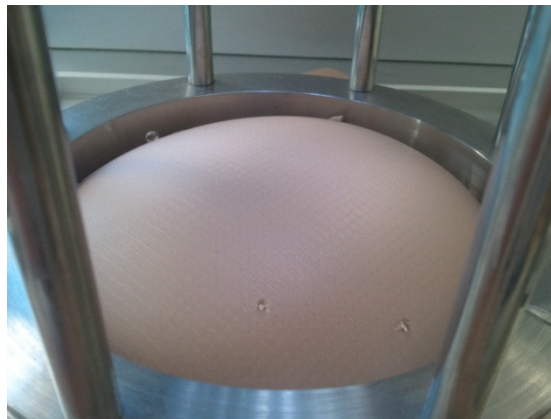
9.5 Hydrostatická odolnost

Každá textilie byla měřena pětkrát při normovaném nárůstu tlaku $60 \text{ cmH}_2\text{O} \cdot \text{min}^{-1}$. Hydrostatickou odolnost samotných textilií jsem odhadla na max. $30 \text{ cmH}_2\text{O}$, což znamená, že měření by trvala maximálně 30 sekund. Takto krátký čas má vzhledem k charakteru zkoušky vliv na přesnost měření.

Zkouška spočívá v tom, že ze spodní části působí na textilii tlak vody a po objevení tří kapek na povrchu textilie pozorovatel měření ručně zastaví. Přesnost měření tedy stojí na lidském faktoru, pohotovosti a v případě nejednoznačnosti kapek i na subjektivním rozhodnutí. Při velmi nízké hydrostatické odolnosti, jako v mém případě, je pak běh událostí velmi rychlý a nejednoznačný. Záleží tedy na pohotovosti při měření a na pečlivé přípravě vzorku tak, aby nebyl předem smočen (ze spodní ani svrchní strany).

Tab. 10 - Průměrná míra vodního sloupce

Textilie	cmH ₂ O
Svrchní	
Vrchasilk	28
FOW běžová	24
FOW černá	20
FOW modrá	4
FOW zelená	0
Podkladové	
Norsilk	0
Eschler bílá	0



Obr. 11 - Průnik tří kapek

Pokud je smáčivost textilie vysoká, voda pronikne již po položení textilie na hladinu vody při upevňování vzorku, případně během prvních vteřin nárůstu tlaku (cca $5 \text{ cmH}_2\text{O} \cdot \text{min}^{-1}$). V případě vyšší odolnosti textilie nedojde k proniknutí 3 kapek, ale k náhlému zaplavování svrchní strany textilie stoupající vodou. Měření byla zastavena ihned po proniknutí vody na povrch.

Nejvyšší odolnost z vybraných textilií vykazovaly FOV béžová a padákovina Vrchasilk, u kterých byly 3 kapky jednoznačné, avšak rychle přibývaly další. Výsledky jsou znázorněny v předchozí tabulce 13.

Z důvodu velmi nízké až nulové hydrostatické odolnosti samotné textilie jsem vyřadila FOV modrá a FOV zelená. Protože očekávám v porovnání s ostatními produkty relativně nízkou hydrostatickou odolnost ($8 \text{ mH}_2\text{O}$), potřebuji, aby samotné textilie měly alespoň základní vlastní hydrostatickou odolnost.

Hydrostatické odolnosti jednotlivých vrstev v laminátu se nesčítají (experimentálně zjištěno [34]), proto vlastní odolnost textilie přispívá příznivému výsledku. Podšívky mají přirozeně hydrostatickou odolnost nulovou z důvodu řídké dostavy. Mezi vhodné textilie po této zkoušce tedy zařazuji FOV béžovou, Vrchasilk a FOV černou.

9.6 Odolnost plošných textilií v oděru

Oděr textilie jsem zařadila jako důležitý parameter pro rozhodování, především z hlediska uživatelského. Oděrem je zjištěno, jak je povrch textilie odolný vůči mechanickému opotřebení v exponovaných částech (např. podpaží, oblast batohu). Při odírání ploch dochází k prodření a fibrilaci vláken, případně ke žmolkování.

Měření končí v okamžiku, kdy dojde k "prodření" jednoho vazného bodu. Každá textilie byla odírána třikrát z důvodu časové náročnosti měření. Výstupem je počet otáček. Tabulka 11 zachycuje výsledné hodnoty, zatímco na obrázku 13 je zachycen měřicí přístroj Martindale s normovanou odírací vlněnou tkaninou.

Měření jednoznačně vyřazuje černou tkaninu, která při každém pokusu dosáhla vždy pouze 1000 otáček. Maximum otáček, které jsou normou uváženy je 50 000, poté končí měření. Ostatní textilie jsou za více, než polovinou této hranice. Běžová je lehce pod ní. Nutné je však přiznat, že variabilita tohoto měření v poměru ku ostatním byla vyšší.

Tab. 11- Počet otáček do oděru

Textilie	Počet otáček
Svrchní	
Vrchasilk	38000
FOW BÉ	24000
FOW ČR	1000
Podkladové	
Norsilk	37000
Eschler bílá	34000



Obr. 12 - Přístroj Martindale

Pro přesnější výsledky bych navrhovala více měření. Uvažuji i možnost, že textilie po laminaci budou odolnější. V konkrétním případě mé práce je směřodonné, že černá tkanina je výrazně vychýlena od ostatních a předpokládám, že by se tato výchylka po laminaci nezměnila takovým způsobem, aby konkurovala zbývajícím dvěma textiliím.

9.7 Tahové vlastnosti plošných textilií

Tahové vlastnosti jsou důležitými parametry při charakteristice plošných textilií. V následující tabulce 12 jsou znázorněny průměrné hodnoty pevnosti, tažnosti a prodloužení. Pro úplnost a možnost porovnání jsou uvedeny všechny tkaniny (a pletenina).

Na první pohled je zřejmé, že se od sebe hodnoty liší řádově v desítkách Newtonů. Vyjímkou je však padákovina Vrchasilk, která je na rozdíl od ostatních pevnější ve směru útku. Je to dáno zřejmě výslednou konstrukcí padáku, kde díly jsou rozměrnější v horizontálním směru a tkanina tak i v tomto směru odolává vysoké vztlačové síle.

Nejvyšší pevnost v osnově vykazuje již vybraná FOV béžová spolu s druhou nejvyšší pevností v útku.

Důležité je také porovnat tažnosti a vybrat takové textilie, které je mají podobné. Překud by nebyly, při společném namáhání v laminátu by došlo ihned k rozpojení vrstev.

Tab. 12 - Průměrné hodnoty pevností, tažností a prodloužení ve vertikálním směru (osnova, sloupek) a horizontálním směru (útek, řádek)

	vertikální směr			horizontální směr		
	Pevnost [N]	Tažnost [%]	Prodloužení [mm]	Pevnost [N]	Tažnost [%]	Prodloužení [mm]
	Svrchní textilie					
Vrchasilk	488,614	20,608	41,412	647,640	31,399	63,225
FOV BĚ	559,880	41,876	84,207	323,326	34,990	70,670
FOV ČR	496,508	56,128	58,064	301,501	64,774	62,310
FOV Z	551,256	26,302	52,874	288,384	28,128	56,655
FOV M	585,920	26,061	52,584	342,164	30,444	61,391
	Podkladové textilie					
Norsilk tka	316,038	29,114	58,460	206,084	33,522	67,463
Eschler plet	207,888	49,315	44,260	199,256	132,780	147,946

Padákovina Vrchasilk má velmi nízkou tažnost v obou směrech, což je v případě laminátu s nanovláknennou vrstvou žádoucí. Pokud by byly krycí vrstvy více tažné, byla nanovláknenná membrána porušena. Právě vybraná FOV béžová má tažnost (v porovnání s ostatními) střední, ne však nejnížší. Její prodloužení je také vysoké. Proto je potřeba uvážit tyto vlastnosti a pozorovat vliv na výsledný laminát.

U podšívek je situace výrazně odlišná. Celkově dosahují nižších hodnot, hlavní rozdíl však spočívá v technologii tkaní a pletení. Tkaná Norsilk je pevnější v osnově stejně tak, jak většina tkanin a její tažnosti jsou nízké. Pletenina je naopak velmi tažná v kolmém směru na její žebra. Pevnosti pleteniny jsou relativně nízké. Budu tedy pozorovat vliv pletené podkladové textilie na výsledný laminát i z tohoto hlediska.

9.8 Prodyšnost

Schopnost propustnosti textilie pro vzduch byla měřena při tlakovém spádu 100 Pa v jednotkách objemu vzduchu $\text{l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Prodyšnost samotných textilií není směrodatná, protože samotná nanovláknenná membrána má rezistenci téměř stoprocentní. Výsledky jsou však pro úplnost uvedeny v kompletní tabulce měření v příloze 1. Prodyšnost jednotlivých svrchních vrstev se pohybuje v rozmezí průměru od 4,6 do $14 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A pro podšívky od 705 do $1030 \text{ l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

9.9 Vybrané lamináty

Z hlediska hmotnosti je ideální kombinací laminát "padákovina - nanovláknenná membrána - tkanina". Vzhledem k tomu, že nanovláknenná membrána je v současné době novinkou v oblasti aplikace pro oděvní účely, navrhuji zhotovit i další variantu laminátu z textilií s mezními hodnotami "běžová - membrána - pletenina". Vybírám v požadovaném rozmezí nejlehčí a nejtěžší lamináty proto, abych porovнала rozdíl hodnot jejich parametrů a zjistila, jak mají jednotlivé vrstvy vliv na výsledný laminát.

Toto testování má smysl také z hlediska ekonomického, kdy by mohla být přijata textilie s mírně vyšší plošnou hmotností, avšak levnější a s uspokojivými vlastnostmi. V následující tabulce 13 jsou znázorněny kombinace svrchních a podkladových textilií a jejich plošných hmotností (bez membrány a laminačních bodů).

Tab. 13- Suma plošných hmotností [g.m^{-2}] svrchních a podkladových textilií ve všech kombinacích.

		1	Norsilk tkanina	2	Eschler pletenina
A	Vrchasilk padákovina	A1	64,45	A2	86,35
B	FOW běžová	B1	71,73	B2	93,63

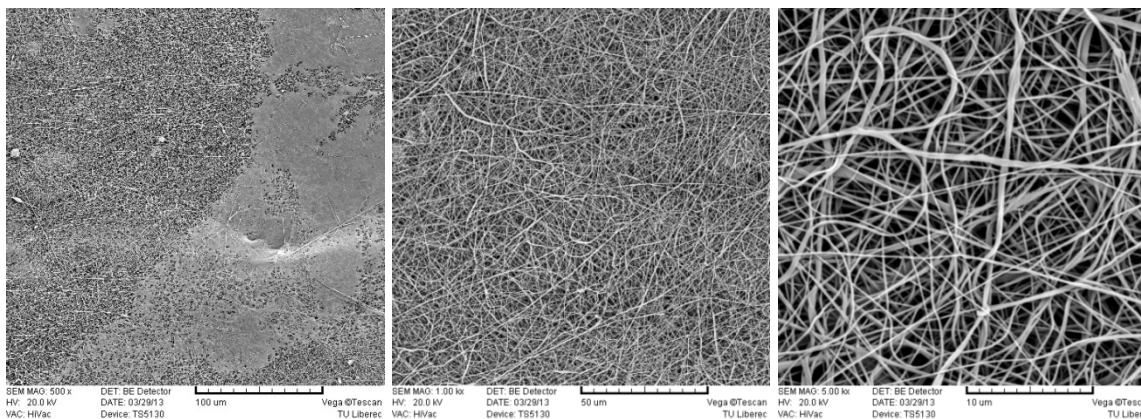
Plošná hmotnost testované membrány je v průměru $2,5 \text{ g.m}^{-2}$ a laminačními body bude ještě navýšena. Nárůst výsledné hodnoty laminátu odhaduji po laminaci přibližně o 10 gramů.

Paropropustnost ani prodyšnost se nesčítají ani neprůměrují. Záleží totiž na výsledné porositě laminátu a na vlastnostech materiálů jednotlivých vrstev. Kromě membrány budou tyto parametry ovlivňovat především laminační body a jejich hustota.

10. CHARAKTERISTIKA TEXTILŮ

Nanovláknenná membrána

Na snímcích z rastrovacího elektronového mikroskopu je zachycena konkrétní aplikovaná membrána pro lamináty. Plošná hmotnost membrány určené pro super lehkou aplikaci je $2,5 \text{ g.m}^{-2}$. Membrána je poté opatřena hydrofobní úpravou a laminována uvedenou technologií nejdříve na podkladovou textili a poté na podšívku. Hustota laminačních bodů je 17 bodů/mesh.



Obr. 13 - Nanovláknenná membrána zvětšená a) 500x, b) 1000x, c) 5000x

Silk&Progress Vrchasilk

Materiál: 100% polyamid

Vazba: Ripstop

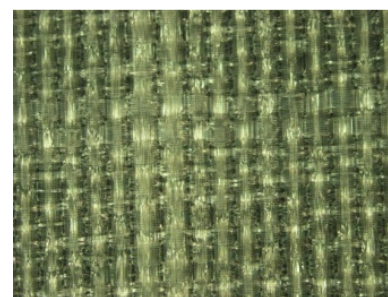
Do = 45 nití/ 1 cm

Dú = 60 nití/ 1 cm

Jemnost: T=3,2 tex



Obr. 14 - a) 20x zvětšeno



b) 50x zvětšeno

Příze: multifil; počet monofilů 14 ; žebra - počet monofilů 28

Hustota tkaniny: $\rho_{tk} = M_p / h \text{ [kg.m}^{-2}.\text{m}^{-1}]$, $\rho_{tk} = 0,0429 / 0,08.10^{-3} = \underline{525 \text{ kg.m}^{-3}}$

Porozita a zaplnění $\mu = \rho_{tk} / \rho_{vl}$ $P_o = 1 - \mu$,

$$\mu = 525 / 1140 = \underline{0,4605} \quad P_o = 1 - 0,4605 = 0,539 \cdot 100 = \underline{54 \%}$$

FOW béžová

Materiál: 100% polyamid

Vazba: Ripstop

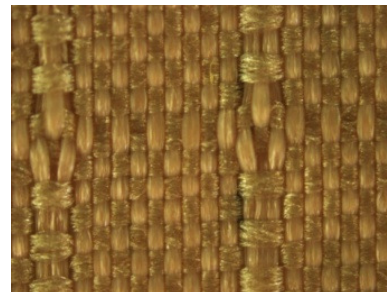
Do = 60 nití/1cm

Dú = 45 nití/1cm

Jemnost: T=4,4 tex



Obr. 15 - a) zvětšeno 20x



b) zvětšeno 50x

Příze: multifil; počet monofilů 33; žebra: 3 multifily osnova + 2 multifily útek

Hustota tkaniny: $\rho_{tk} = 0,0503 / 0,112 \cdot 10^{-3} = \underline{449,107 \text{ kg.m}^{-3}}$

Porozita a zaplnění: $\mu = 449,107 / 1140 = \underline{0,3939}$ $P_o = 1 - 0,3939 = 0,6061 \cdot 100 = \underline{61 \%}$

Silk&Progress Norsilk

Materiál: 100% polyester

Vazba: plátno

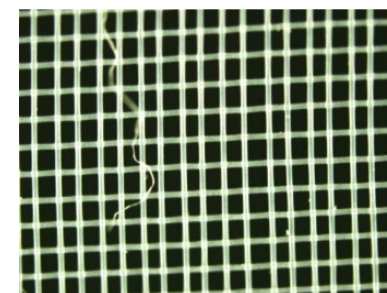
Do = 50 nití/1cm

Dú = 40 nití/1cm

Jemnost: T = 2,1 tex



Obr. 16 - a) zvětšeno 20x



b) zvětšeno 50x

Příze: monofil

Hustota tkaniny: $\rho_{tk} = 0,0215 / 0,066 \cdot 10^{-3} = \underline{325,757 \text{ kg.m}^{-3}}$

Porozita a zaplnění: $\mu = 325,757 / 1370 = \underline{0,2378}$ $P_o = 1 - 0,2378 = 0,7622 \cdot 100 = \underline{76 \%}$

Eschler bílá pletenina

Materiál: 100% polyester

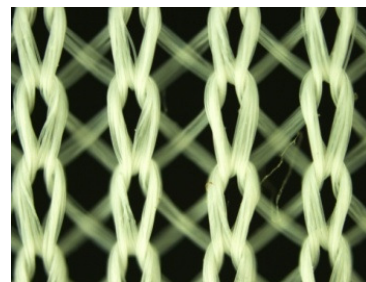
Pletenina: ZJ

Dsl = 10

Dř = 13



Obr. 17 - a) zvětšeno 20x



b) zvětšeno 50x

Příze: multifil, počet monofilů ve svazku 30

Hustota tkaniny: $\rho_{tk} = 0,0434 / 0,172 \cdot 10^{-3} = \underline{252,326 \text{ kg.m}^{-3}}$

Porozita a zaplnění: $\mu = 252,326 / 1370 = \underline{0,1842}$ $P_o = 1 - 0,1842 = 0,8152 \cdot 100 = \underline{82 \%}$

11. LAMINÁTY - MEMBRÁNA 2,5 g.m⁻²

Lamináty byly zhotoveny ve výrobě v malém množství pouze pro potřeby diplomové práce. Pravděpodobně se tento důvod odrazil na kvalitě laminátů, která byla silně zhoršená. U obou laminátů byla membrána nanесena podél krajů viditelně v nerovnoměrném množství a pevnost spoje byla velmi nízká. Ve středním pásu však již laminát splňoval požadované parametry a byl proveden reprezentativní vzorek měření. Nános membrány byl rovnoměrný a laminát při běžné manipulaci pevný. Způsob laminace je samostatným tématem, avšak na základě předchozích zkušeností s laminací je dodaný nekvalitní laminát způsobený jednorázovými nedostatky při výrobě.

11.1 Kombinace A1 - Vrchasilk padákovina + Norsilk tkanina

Samotné textilní vrstvy mají průměrnou plošnou hmotnost 64,45 g.m⁻². Znamená to, že membrána a laminační body se podílejí na celkové hmotnosti laminátu 20-ti g.m⁻².

Dílčí výparný odpor jednotlivých vrstev byl 2,16 (svrchní), 0,4 (podkladová vrstva) a 0,0 (membrána). Výsledný výparný odpor 4,76 je nad mé očekávání vysoký. Přestože tato hodnota splňuje podmínku dobré paropropustnosti, předpokládala bych na základě vstupních hodnot přibližně $R_{et} < 3,5$. Navýšení odporu je způsobeno snížením porozity celého laminátu vlivem kombinace různých vláknenných vrstev a množstvím a velikostí laminačních bodů.

Tab. 14 - Výsledky měření laminátu A1

Laminát padákovina Po = 70%	Plošná hmotnost	Paropropustnost	Hydrostatická odolnost	Prodyšnost 100Pa	Tloušťka
	M_p [g.m ⁻²]	R_{et} [Pa.m ² .W ⁻¹]	[cmH ₂ O]	[l.m ⁻² .s ⁻¹]	[mm]
Průměr	84,528	4,76	446,667	1,731	0,238
Směrodatná odchylka	0,616	0,602	42,392	0,307	0,013
Variační koeficient	0,007	0,127	0,0951	0,178	0,055

Hydrostatická odolnost je velmi nízká, téměř poloviční od očekávané hodnoty. Prezentovaná odolnost 50 000 mmH₂O je dosažena s membránou s vyšší plošnou

hmotností a tedy i větší tloušťkou. Membrána pro super lehkou aplikaci je navržena tak, aby měla nízkou plošnou hmotnost, což se projevuje negativně při mechanickém namáhání. Výsledek 447 cmH₂O, resp. 4470 mmH₂O je velmi nedostačující a nevyhovuje outdoorovým nárokům. Vzhledem ke zvolenému komplexnímu charakteru bundy navrhuji zvýšit plošnou hmotnost membrány i za cenu navýšení plošné hmotnosti bundy. Prodyšnost laminátu je výborná a vyhovuje požadavkům.

Hustoty polymerů jsem k následujícím výpočtům převzala z [35].

Hustota laminátu A1

Vztah $\rho_{tk} = M_p / h$ [kg.m⁻².m⁻¹] pro hustotu tkaniny přezemu i pro hustotu laminátu, princip výpočtu je stejný bez ohledu na strukturu laminátu.

$$\rho_{lam} = 0,0845 / 0,238 \cdot 10^{-3} = 355,042 \text{ kg.m}^{-3}$$

Zaplnění laminátu A1

Laminát se skládá z různých polymerů a je potřeba jejich podíl zohlednit při výpočtu zaplnění a následně porozity. 74,6 % z laminátu představuje část tvořená z polyamidu (svrchní vrstva + membrána) a 25,4% z polyesteru.

$$\mu = \frac{355,042 \cdot 0,746}{1140} + \frac{355,042 \cdot 0,254}{1370} = 0,298$$

Porozita laminátu A1

$$Po = 1 - \mu = 1 - 0,298 = 0,702 \cdot 100 = 70 \%$$

Porozita ukazuje, jakou část z celkového objemu plošné textilie tvoří hmota a jakou část tvoří vzduch. Pokud je porozita vysoká, textilie má i nízký výparný odpor. Nadruhou stranu není hydrostaticky odolná a je hodně prodyšná. S aplikací nanovláknenné membrány odolávají i vysoce porézní lamináty tlaku vody a větru.

11.2 Kombinace B2 - FOV béžová + Eschler pletenina

Plošná hmotnost této kombinace textilií je $93,63 \text{ g.m}^{-2}$, kde z celkové plošné hmotnosti laminátu připadá 22,16 g na membránu a laminační body. Přírůstek hmotnosti laminačních bodů a membrány by měl být konstantní, variabilita je dána nepřesností měření či laminací.

Výparný odpor je nižší z důvodu paropropustnější svrchní textilie. Hydrostatická odolnost je však ještě o 128 cmH₂O nižší, než první laminát. Vzhledem k tomu, že hydrostatické odolnosti jednotlivých druhů textilií jsou od sebe málo odchýleny v řádu 1m H₂O, variabilita vzniká také na straně nanovláknenné membrány a ne pouze z důvodu odlišnosti textilií. Materiálové složení vrstev je též stejné a konstrukce textilií s uvedenými pevnostními vlastnostmi nemá v malé míře na deformace vzorku vliv.

Tab. 15 - Výsledky měření laminátu B2

Po = 66%	Plošná hmotnost	Paropropustnost	Hydrostatická odolnost	Prodyšnost 100Pa	Tloušťka
	$M_p [\text{g.m}^{-2}]$	$R_{et} [\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}]$	[cmH ₂ O]	$[\text{l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}]$	[mm]
Průměr	115,792	4,12	317,9	5,338	0,402
Směrodatná odchylka	2,047	0,536	103,836	0,321	0,004
Variační koeficient	0,018	0,130	0,327	0,060	0,001

Hustota laminátu

$$\rho_{\text{lam}} = 0,116 / 0,402 \cdot 10^{-3} = 412,935 \text{ kg.m}^{-3}$$

Zaplnění laminátu

62,6 % z laminátu představuje část tvořenou z polyamidu (svrchní vrstva + membrána) a 37,4% z polyesteru.

$$\mu = \frac{412,935 \cdot 0,626}{1140} + \frac{412,935 \cdot 0,374}{1370} = 0,3395$$

Porozita laminátu

$$P_o = 1 - \mu = 1 - 0,3395 = 0,6605 \cdot 100 = 66 \%$$

Předpokládala jsem, že kombinací více porézních textilií vznikne také více porézní laminát. Ve výsledku však vznikl méně porézní laminát, než při kombinaci textilií s nižšími dílčími porozitami. Jev si vysvětluji deformací pleteniny při laminování.

Laminát A1 s vyšší porozitou dosahuje naopak i nižšího výparného odporu. Na základě více měření by bylo vhodné ověřit, zda jsou tyto rozdíly statisticky významné.

11.3 Mechanické namáhání laminátu v tahu

Při napínání laminátu dochází k namáhání spodní a svrchní vrstvy. Nanovláknenná membrána je nalaminovaná na textiliích a rozpíná se vlivem jejich natahování. Pevnost v tahu samotné membrány je nulová, ale nanosená membrána již mění pevnost nosné textilie. Výsledky měření v tabulce 16 jsou pevnosti, tažnosti a prodloužení laminátů do přetrhu alespoň jedné vrstvy. V momentě přetrhu jedné vrstvy měření končí.

Tab. 16 Mechanické vlastnosti laminátů

	vertikální směr			horizontální směr		
	Pevnost [N]	Tažnost [%]	Prodloužení [mm]	Pevnost [N]	Tažnost [%]	Prodloužení [mm]
	A1 Vrchasilk + Norsilk (padákovina+tkanina)					
Průměr	616,14	68,843	35,422	561,36	95,748	47,874
Směr.odch.	24,701	4,015	1,852	32,558	9,857	4,928
Var.koef.	0,0400	0,058	0,052	0,058	0,103	0,103
	B2 FOV + Eschler (tkanina+pletanina)					
Průměr	781,74	142,301	71,1506	312,088	127,826	63,913
Směr.odch.	33,395	5,808	2,904	4,586	4,124	2,062
Var.koef.	0,043	0,041	0,041	0,015	0,032	0,032
	Průměrné hodnoty samotných textilií (pro srovnání)					
AVrchasilk	488,614	20,608	41,412	647,640	31,399	63,225
B FOV BÉ	559,880	41,876	84,207	323,326	34,990	70,670
1 Norsilk	316,038	29,114	58,460	206,084	33,522	67,463
2 Eschler	207,888	49,315	44,260	199,256	132,780	147,946

Jako první se vždy přetrhla svrchní textilie. V případě laminátu B2 s pleteninou je jev vysvětlitelný tím, že pletenina má vyšší tažnost, než svrchní textilie a tedy k jejímu protržení dojde při pokračování působení síly později. Naopak u bílého laminátu A1 z padákoviny jsem předpokládala, že jako první praskne podšívka, která má výrazně nižší pevnost. Otázkou tedy je, proč padákovina s dílčí pevností přibližně 490 N v osnově a 650 N v útku ve formě laminátu praskne dříve, než textilie s dílčími pevnostmi 316 N (o) a 206 (ú). Rozdíly mezi jejich tažnostmi a prodlouženími jsou nevýznamné, proto bych předpokládala vyšší odolnost padákoviny místo podšívkoviny.

Po nanesení laminačních bodů a nalaminování membrány dochází při namáhání k vzájemným interakcím mezi vrstvami. Výsledná pevnost vždy vychází z pevnosti textilií a zároveň z pevnosti vazeb mezi nimi. Textilie mohou být navíc laminováním zpevněny. Pokud jsou textilie v jednom laminátu jinak tažné, bude docházet ke smyku mezi nimi a tím se poruší nanovláknenná membrána. Laminát pak ztratí svoje komfortní vlastnosti. A1: Vrchasilk + Norsilk mají podobné tažnosti v osnově i v útku. Při tahovém namáhání dochází vlivem podobných deformací k nízkému smykovému pohybu mezi vrstvami, laminát jako celek není narušen a dosahuje celkově vyšších pevností. Toto mé vysvětlení potvrzuje laminát B2 FOV+Eschler, který má podobné tažnosti textilií ve směru osnovy (sloupku) a dosahuje nejvyšší pevnosti ze všech kombinací a směrů. Naopak ve směru řádku podkladové pleteniny je laminát tažný nejvíce. Ve spojení s nízko tažnou tkaninou dochází při společném namáhání k výraznému smykovému pohybu, k rozpojení vrstev a tedy ke snížení celkové pevnosti laminátu. Z výsledků měření je patrné, že pevnost laminátu se pak rovná pevnosti méně tažnější vrstvy.

Při další konstrukci laminátu je tedy potřeba zohlednit tažnost a strukturu jednotlivých vrstev (tkanina, pletenina, vazba) tak, aby se při tahovém zatížení deformovaly podobně a vzájemným smykovým pohybem nerozpojovaly nanovláknennou vrstvu. Maximální pevnost jednotlivých textilií tak není preferovanou vlastností, protože ztráta funkce laminátu nastává v okamžiku vzájemného oddělení vrstev, nikoliv až v jejich přetrhu. Pevností spojení vzájemných vrstev se zabývá následující kapitola.

11.4 Pevnost laminačního spoje

Pevnost spoje je následována normou na lpění vrstev, kde je definována velikost vzorku a rychlost odtahu. Použila jsem přístroj Instron pro tahové namáhání přízí, který pracuje s nižším rozsahem síly. To proto, aby měření s očekávaným výsledkem řádově v několika newtonech bylo co nejpřesnější. V následující tabulce 17 jsou zobrazeny hodnoty pevností spojů obou laminátů. Dalšími parametry, na jejichž základě je možné sestavit graf průběhu oddělování spojů, jsou čas a prodloužení. Obecně platí čím je spoj pevnější, tím delší časový úsek trvá jeho rozdělení.

V případě laminátu A1 jsou povrchy obou textilií (obě tkaniny) velmi hladké z důvodu jemných vláken a husté destavy. Tato struktura udržuje přípravek na povrchu a po prolaminování nedojde k dostatečnému spojení s textilií. Další možností je, že textilie jsou natolik tenké, že i po proniknutí laminačního substrátu mezi vlákna nedojde k dostatečnému prolaminování, membrána ulpívá na textiliích a snadno se ve své horizontální rovině rozpojuje. V případě těchto lehkých jemných textilií je tedy třeba věnovat pozornost technologii laminování.

Tab. 17 - Pevnost spoje laminátů

	A1 Vrchasilk+Norsilk		B2 FOV běžová+Eschler	
	osnova	útek	sloupek	řádek
1.	2,28	1,34	3,89	5,9
2.	2,01	2,95	2,95	4,56
3.	3,08	3,48	2,81	6,17
Průměr	2,457	2,59	3,217	5,543
Směrodatná odchylka	0,556	1,114	0,587	0,862
Variační koeficient	0,226	0,430	0,183	0,156

Protože příze jsou stejné a stejně destavené v osnově i v útku, pevnostní rozdíl je zanedbatelný. Předpokládaná pevnost byla minimálně 3 N, zatímco laminát dosahuje pouze 2,5 N. Tímto vzniká otázka, zda superlehké lamináty dosáhnou potřebné pevnosti laminačního spoje, aniž by byly omezeny jeho komfortní vlastnosti (termofyziologické -

zvýšený výparný odpor, senzorické - hodně laminačních bodů, tužší omak). Ve směru útku byla měření vychýlena, což přisuzuji nestejnomyšlnosti laminátu.

Spoj druhého laminátu B2 dosahuje v průměru o poznání vyšších pevností. Podkladem je pletenina, s nižší jemností. Struktura je členitější, laminační substrát lépe přilne a membrána vlivem nerovnosti povrchu působí vyšší plochou. Zároveň došlo ke správnému prolaminování a pevnost spoje v obou směrech byla vyšší.

Pokud dochází k oddělování ve směru sloupce, textilie se odděluje ze hřbetů žebër pleteniny plynule a snadněji, tedy za potřebí nižší síly. Naopak při oddělování ve směru řádku jsou jednotlivá žebra oddělena prohlubněmi (záleží na vazbě) a vždy je potřeba vynaložit vyšší sílu na oddělení od každého nového žebra pleteniny.

V souvislosti se smykovým pohybem vrstev při tahovém namáhání jsou kladeny na mechanickou odolnost prostřední vrstvy nároky na pevnost a tažnost. Požadovaná pevnost spoje je dle [34] 3N k mechanické odolnosti membrány při běžné i sportovní činnosti. A1 laminát z tenčích vrstev dosahuje v průměru 2,5 N a to z důvodu výše popsaných. Tvzení by bylo ověřeno, kdyby byla na tenkou textili Vrchasilk nalaminována pletenina a ověřena pevnost spoje po zvýšení členitosti podkladové vrstvy.

B2 laminát ve sloupci splňuje požadovanou hranici a v řádku dosahuje pevnosti v průměru až 5,5 N. Kombinací opačných laminátů by bylo ověřeno, zda má členitost struktury i v těchto mikrorozměrech vliv na pevnost spoje.

11.5 Vyhodnocení, dílčí závěr

Nanovláknenná membrána je vysoce *větruvzdorná* a laminace s dalšími vrstvami větruvzdornost pouze podpoří.

Paropropustnost po laminaci naroste vlivem přítomnosti membrány, impregnace a množství laminačních bodů. Výsledné hodnoty $Ret=4,12$ a $Ret=4,76$ jsou z hlediska termofyziologického komfortu velmi dobré. Další pokus o snížení paropropustnosti (snížení plošné hmotnosti membrány, zvýšení intenzity laminačních bodů) by ohrozil mechanické vlastnosti laminátu.

Vodní sloupec je velmi nízký a nevyhovující. Membrána je navržena s nízkou plošnou hmotností za účelem snížení hmotnosti celého laminátu. Tento krok však výrazně snižuje hydrostatickou odolnost. Ta je natolik zásadní, že doporučuji zhotovit lamináty s navýšenou plošnou hmotností membrány tak, aby odolala minimálně 8000 mmH₂O. Protože plošná hmotnost membrány bude navýšena, volím pro další laminaci pouze textilií Vrschasilk s nižší plošnou hmotností tak, aby celková hmotnost laminátu nepřesáhla požadovaných 100 g.m⁻². Dle zkušeností z výroby a doporučení dle [34] bude nová membrána vyrobena s plošnou hmotností 4 g.m⁻², která by už měla odolat požadovanému hydrostatickému tlaku.

Pevnost spoje je v případě nejlehčí kombinace materiálů pod stanovenou úrovní 3N. Při používání hladkých tenkých jemných textilií za účelem vytvoření super-light produktu je obtížné ji zvýšit. Měření ukazuje, že laminát se strukturovanější podšívkou (pletěnina) vykazuje vyšší pevnosti. Proto při další laminaci navrhuji se svrchní textilií Vrchasilk a nanovláknennou membránou s vyšší plošnou hmotností slaminovat jak tkaninu Norsilk (A1), tak právě i pleteninu Eschler (A2).

V prvním případě je kombinace laminátů stejná, liší se pouze membrána. Protože laminační proces zůstává stejný a laminační body včetně hydrofobního přípravku navyšují celkovou hmotnost membrány o 17,5 g.m⁻², po přičtení plošné hmotnosti nové membrány 4 g.m⁻² se celková plošná hmotnost nového laminátu navýší přibližně o 22 g.m⁻². V případě laminátu A1 by ve výsledku s uvažováním rezervy nabývala hodnoty přibližně 90 až 100 g.m⁻². Tato splňuje požadovanou hranici, je však nezbytné ověřit komfortní vlastnosti nového laminátu, především hydrostatickou odolnost a pevnost spoje. Domnívám se ale, že pevnost spoje se zvýšením plošné hmotnosti membrány výrazně nezlepší.

Navýšení pevnosti spoje by mohlo být na základě výše uvedeného závěru z měření realizováno volbou pleteniny jako podšívky s textilií Vrchasilk. Plošná hmotnost kombinace A2 je 86,35 g.m⁻². Po laminaci se navýší opět přibližně o 22 g.m⁻² a výslednou hmotnost tak odhaduji na 110 - 115 g.m⁻² kvůli pleteninové podšívce, která i v předchozím laminátu způsobila vyšší přidanou hmotnost. Na základě výsledků měření pevnosti spoje a dalších parametrů bych stanovila priority, zda zhotovit lehčí laminát s nižší pevností laminačního spoje nebo mírně těžší laminát s dostatečnou pevností spoje.

Výsledkem celkového měření je, že bych žádný z vyrobených laminátů neuvedla do sériové výroby, ale zjistila jsem podmínky a parametry, za kterých by měl být vyroben lepší laminát. Tyto 2 nové lamináty byly zadány k laminaci, ale z časových důvodů dodání jsem je osobně nepodrobila měřením. Byly tedy změřeny hodnoty klíčových parametrů ve výrobním závodu pod dohledem ing. Knížka dostupnými metodami a výsledky dodány.

12. LAMINÁTY - MEMBRÁNA 4 g.m⁻²

Plošná hmotnost membrány byla navýšena z 2,5 na 4 g.m⁻². Hydrofobní úprava zůstává stejná, včetně intenzity laminačních bodů 17 bodů/mesh.

Hodnoty výparného odporu a hydrostatické odolnosti jsou průměry ze 4 měření.[34] Hodnota plošné hmotnosti je odvozena výpočtem z plošných hmotností kombinace textilií a nárůstu celkové plošné hmotnosti po laminaci v předchozích případech.

Tab. 18 Vlastnosti laminátu s navýšením plošné hmotnosti membrány

	Plošná hmotnost	Výparný odpor	Hydrostat. odolnost
	g.m ⁻²	Pa.W ⁻¹ .m ⁻²	cmH ₂ O
	A1 Vrchasilk + Norsilk		
Průměr	86,45	3.15	1075.6
Směr.odch.	-	0.129	30.263
Var.koef.	-	0.041	0.028
	A2 Vrchasilk + Eschler pletenina		
Průměr	108,35	2.9	1064.47
Směr.odch.	-	0.08165	22.45135
Var.koef.	-	0.028155	0.021092

Výparný odpor je nižší, než předchozí kombinace A1 Vrchasilk+Norsilk. Předpokládala bych, že navýšením membrány bude stejný nebo vyšší. Přestože měření by mělo být normované včetně okolních podmínek, tamní přístroj může být jinak seřízen a vznikne odchylka výsledných hodnot. Druhé vlastní odůvodnění vychází z vlastností nanovláknenné vrstvy, kdy se s vyšším specifickým povrchem vláken odvádí větší množství par.

Hydrostatická odolnost překročila požadovaných 800 cm H₂O a dosáhla dokonce 1000 cmH₂O. Tato odolnost dostačuje při náhlém dešti a mrholení. Vzhledem k charakteru určení bundy (snížování hmotnosti a náhlá změna počasí) považuji tento vodní sloupec za dostatečný.

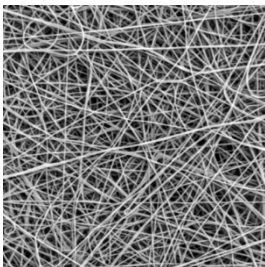
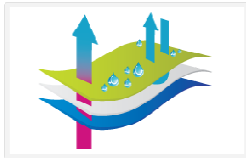
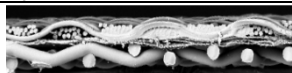
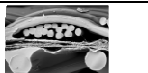
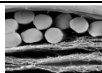
Za rozhodující parametr pro volbu výsledného laminátu považuji pevnost spoje laminovaných vrstev.

13. NÁVRH PREZENTACE VÝROBKU

Super lehký laminát, respektive bunda z něj ušitá je určena pro zákazníky, kteří vyžadují minimální hmotnost oděvu při zachování paropropustnosti, prodyšnosti a hydrostatické odolnosti.

Bunda je tak určena a) pro aerobní sporty, například běh a intenzivní trénink v terénu, kdy je potřeba nenavyšovat zátěž sportovce hmotností oděvu, ale zároveň jej proti vnějším povětrnostním podmínkám ochránit. Navrhují oslovit známé běžce či jiné sportovce, kteří by bundu z 3-vrstvého laminátu používali a ohodnotili její lehkost a komfort. Za klíčové považují získat důvěru ve funkčnost a stálost produktu, která by byla potvrzena doporučením uznávaného sportovce.

Další skupinou potenciálních uživatelů jsou b) příznivci outdoorových aktivit. Předností laminátu je jeho nízká váha a skladnost. Uživatel tak může bundu snadno složit do malého objemu, transportovat a při změně počasí ihned rozbalit a být okamžitě ochráněn. Nedostatkem je při tomto použití mačkavost laminátu a stálost membrány při opakovaném skládání do nejmenšího tvaru.

První strana	Vnitřní dvojstrana po otevření		Zadní strana
<div>MEMBRÁNA Z NANOVLÁKEN</div> <div></div> <div>•VÍCE MENŠÍCH PÓRŮ</div> <div>•VYSOKÝ POVRCH VLÁKEN</div>	<div>POT&PÁRA</div> <div><ul style="list-style-type: none">• projdou• správně vrstvěte• nízký výparný odpor 3 Pa.m².W⁻¹</div>	<div>VODA</div> <div><ul style="list-style-type: none">• 10 mH₂O• nárůst tlaku 0,6 mH₂O/min• zastaví lehký déšť</div>	<div></div> <div>Logo firmy</div> <div>Cena výrobku</div>
	<div>VÍTR</div> <div><ul style="list-style-type: none">• nemá šanci• prostoupí pouze 1,76 l.m⁻².s⁻¹ pod tlakem 100 Pa</div>	<div>PRODŘENÍ (ODĚŘ)</div> <div><ul style="list-style-type: none">• 21000 oděrů• nošení batohu• minimální hlupatost</div>	
	<div></div> <div></div> <div></div>		

Obr. 18 Schématický návrh štítku upevněného na bundě z 3-vrstvého laminátu s nanovláknennou membránou

Nejlepším důkazem pro zákazníka je v obou případech propagace přímý kontakt s produktem a možnost vyzkoušení hmotnosti textilie (veletrhy, prezentace v prodejnách), publikace článků na odborných a hobby portálech nebo sponzoring sportovních akcí.

Jako důležitý prvek prezentace výrobku zařazují etiketu či štítek objasňující na malé ploše všechny důležité informace, které zákazníka zajímají při správné volbě produktu. Vizuální stránka je přizpůsobena celkovému designu společnosti. Následné zpracování prezentuje pouze faktické informace, které by měly být na štítku uvedeny.

Součástí zadání práce je tvorba textu, který by mohl být zařazen do propagačních materiálů společnosti. Opět kladu důraz na plné znění hodnot parametrů. Pokud jim zákazník nerozumí, najde plné vysvětlení na webových stránkách společnosti. V rámci informovanosti zákazníku je plánováno vydání kvalifikované publikace o outdoorových textiliích a i zde budou uváděné parametry vysvětleny.

Varianta 1 - Stručná

Nejnovějším produktem společnosti je extra lehký 3-vrstvý laminát Nanoportex Super light. Naším cílem bylo co nejvíce snížit hmotnost laminátu, abychom mohli zkonstruovat outdoorovou bundu pro maximální svobodu pohybu uživatele.

S aplikací nanovláknenné membrány jsme dosáhli velmi nízkých hmotností při zachování paropropustnosti ($3 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$), téměř stoprocentní prodyšnosti a potřebné hydrostatické odolnosti ($10000 \text{ mmH}_2\text{O}$). Užijte si svůj trénink nebo horskou túru s maximální lehkostí.

Varianta 2 - Vysvětlující

Nejnovější produkt společnosti 3-vrstvý laminát Nanoportex Super light je zkonstruován pro svobodu vašeho pohybu a zároveň pro nezbytnou ochranu při změně počasí. Svrchní textilie a podšívka jsou vybrány tak, aby v interakci s nanovláknennou membránou tvořily velmi lehký, avšak odolný laminát s paropropustností $3 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$, téměř stoprocentní prodyšností a hydrostatickou odolností $10000 \text{ mmH}_2\text{O}$.

Super lehký laminát je vhodný pro sport a aktivní trénink, kde se každé kilo oděvu navíc počítá. Nenechte se překvapit deštěm či větrem ani při horských túrách. Bundu Nanoportex Super light jednoduše složíte do malého objemu a vezmete kamkoliv s sebou.

14.ZÁVĚR

Mým cílem bylo vytvořit 3-vrstvý laminát s aplikací nanovláknenné membrány tak, aby jeho hmotnost byla co nejmenší, minimálně pod hranici 100 g.m^{-2} . Laminát pak bude použit pro konstrukci velmi lehké bundy pro outdoorový trénink.

Výrobci nabízejí velmi lehké bundy pro běhání nebo outdoorovou aktivitu, rozdělitelné do dvou skupin. První jsou bundy jednoduchého střihu s minimem přídavných prvků určeny pro běhání nebo snadné složení a náhlou potřebu. Druhým typem jsou komplexně zpracované bundy s kapucí, speciálními zipy a systémem kapes. Jsou určeny pro outdoorové aktivity, kde je požadována nízká aktivní váha. Vývoj *laminátu* je zaměřen na konstrukci bundy komplexního charakteru. Díky své nízké váze však bude určena pro běh a delší outdoorové činnosti s možností náhlé změny počasí. Vše při udržení velmi dobrých termofyziologických vlastností, hydrostatické odolnosti a pevnosti materiálu.

Kritériem pro výběr vhodné podkladové a svrchní textilie byla v první řadě plošná hmotnost, dále v pořadí důležitosti paropropustnost, spray test, hydrostatická odolnost a oděr. Dobře paropropustné textilie byly silně smáčivé, další z výběru vyřadila nízká míra vodního sloupce a z postupujících tří textilií byla jedna jednoznačně vyřazena po testování oděru (prodyšnost textilií byla u všech dobrá).

V průběhu práce se ukázalo že z hlediska tahového namáhání není důležitá výsledná síla při přetrhu, ale tažnost jednotlivých textilií, která ovlivňuje celkovou pevnost laminátu a pevnost laminačního spoje při namáhání. Proto jsou naměřená data z tahového namáhání užitečná ne při výběru textilií, ale při jejich volbě do laminátů.

Ze čtyř možných kombinací jsem pro tvorbu laminátu vybrala dvě extrémní kombinace nejlehčích a nejtěžších textilií, včetně pleteniny. Na základě hustoty a tloušťky tkaniny jsem počítala *porozitu* pro případnou souvislost paropropustnosti laminátu. Dvě textilie s dílčími nižšími porozitami měly ve výsledku porozitu vyšší (celk. 70%), než textilie s dílčími vyššími porozitami (celk. 66%). Při stejných podmínkách laminace jsem čekala výsledek opačný. Jedním z vysvětlení je, že je pletenina při laminaci zkušena ve směru řádku a porozita se sníží. Při laminaci pleteniny v takto lehkých útvarech je tedy třeba dbát na dodržení predikované tloušťky použité při určení porozity.

Maximální *pevnost výsledného laminátu* nevychází pouze z nejvyšších pevností dílčích textilií. Po nanesení laminačních bodů se textilie zpevní a dochází k interakcím mezi vrstvami. Při tahovém namáhání laminátu dojde k "natahování" jednotlivých vrstev. Pokud jsou tažnosti vrstev výrazně odlišné, dojde ke smyku mezi nimi a poruší se vrstva nanovláknenné membrány, resp. textilie se od sebe oddělí a laminát ztratí termofyziologické vlastnosti. Laminát A1 má podobné tažnosti v obou směrech, textilní vrstvy spolu déle interagují a dosahují vyšší pevnosti než nejpevnější textilie.

Druhý laminát B2 s pleteninou má podobné tažnosti ve směru osnovy (svrchní tkaniny) a sloupku (podkladové pleteniny) a dosahuje ještě vyšších pevností. Domnívám se, že důvodem je jak vyšší tažnost dílčích textilií, tak vyšší zpevnění členitějšího povrchu pleteniny při laminaci (V členitější stuktře je laminační bod lépe upevněn). Naopak ve směru útku a řádku výrazně převažuje tažnost pleteniny, dochází dříve ke vzájemnému smykovému pohybu textilií, laminát je oslaben a jeho pevnost je blízká maximální pevnosti samotné tkaniny.

Doporučuji tedy jako podšívku volit pleteninu s podobnou tažností v řádku i sloupku pro podporu pevnosti podšívkové vrstvy a zároveň zvolit vrstvy s podobnou tažností v obou směrech.

Pevnost spoje, neboli lpění vrstev je důležitým parametrem z hlediska hodnocení mechanické stálosti laminátu. Je to síla, která je potřebná k rozpojení svrchní a spodní vrstvy od sebe. Vrstvy jsou spojeny pouze laminačními body. V případě laminátu A1 jsou obě vrstvy jemné, tenké a hladké. S přípustným vlivem méně kvalitní laminace je pevnost spoje 2,5 N, tedy pod požadovanou hranicí 3N. Naopak členitější textilie jsou spojeny pevněji a to 3,2 N v osnově a 5,5 N v řádku. Tímto opět doporučuji pro konstrukci laminátu pleteninu.

Výparný odpor samotné membrány je velmi nízký, v závislosti na plošné hmotnosti až nulový. Odpor navyšují až laminační body, které jsou potřeba ke spojení membrány s textilií. Nejlehčí padákovina Vrchasilk má nejvyšší výparný odpor, což se projevilo i na výsledném odporu laminátu $4,76 \text{ g.m}^{-2}$. Hodnota je však v kategorii "velmi dobré" a prioritou stále zůstává její nejnížší plošná hmotnost.

Plošná hmotnost laminátu s aplikací této padákoviny je 85 g.m^{-2} . Naopak u B2 laminátu je 116 g.m^{-2} , tedy nevyhovuje. S membránou s $M_p=2,5 \text{ g.m}^{-2}$ se plošná hmotnost

svrchní a spodní textilie navýší cca o 20g.m^{-2} . Takto je možné součtem jednotlivých plošných hmotností dílčích komponent odhadnout hmotnost laminátu.

Velmi špatné bylo měření *hydrostatické odolnosti*, kde hodnoty dosahovaly pouhých 4500 a 3200 mmH₂O, požadované minimum je 8000 mmH₂O. Tento jednoznačný výsledek vedl k rozhodnutí zhotovit nové lamináty s vyšší hydrostatickou odolností.

Na základě výše uvedených poznatků se laminovala pouze nejlehčí padákovina Vrchasilk v první variantě A1 opět s tkaninou Norsilk ($M_p=87\text{ g.m}^{-2}$) kvůli nejnižší hmotnosti laminátu a v druhé variantě A2 s pleteninou ($M_p=108\text{ g.m}^{-2}$) kvůli lepší pevnosti laminačního spoje. Změna spočívá v navýšení plošné hmotnosti membrány při výrobě z $2,5\text{ g.m}^{-2}$ na 4 g.m^{-2} .

Tyto lamináty byly zhotoveny vzhledem k náročnosti organizace laminace v zahraničí těsně před dokončením práce a hodnoty hlavních parametrů byly naměřeny v závodě a zaslány. Hydrostatická odolnost po laminaci u obou laminátů vzrostla v průměru na 10700 mmH₂O a je přijatelná vzhledem k charakteru využití bundy.

Po dodání laminátů navrhuji změřit pevnosti a tažnosti laminátů včetně pevnosti laminačního spoje. Pokud bude pevnost A1 přesahovat pevnost 3N, je vyvinut spolehlivý laminát s $M_p < 100\text{ g.m}^{-2}$, resp 90 g.m^{-2} . Varianta B2 dle odhadu hranici jednoznačně překračuje, pokud by však pevnost spoje s pleteninou byla významně lepší, než A1, přijala bych pevnější laminát i s touto plošnou hmotností. Další možností je laminovat jinou pleteninu s nižší plošnou hmotností. Vedle kladných vlastností nanovláknenné membrány je mechanická odolnost diskutovaným tématem, proto jsem mu věnovala největší část práce.

Nezbytným krokem v produktovém řízení je i propagace výrobku. Z tohoto širokého okruhu jsem si vybrala tvorbu informačního štítku, který má přenést uživateli během chvíle všechny podstatné informace o oděvu přehledně a korektně. Dále tvorbu propagačního textu umístěného do brožury nebo na banner. Hlavním cílem je sdělit celistvý a nezkreslený přehled o produktu. Populace se s nanotextiliemi teprve seznamuje, proto je dobré vedle pro zákazníka obvyklých aplikací ukazovat výhody nanotextilů v limitovaných oblastech, kde skutečně pomohou viditelně zlepšit současný stav. Příkladem je právě posunutí hranice nejnižší hmotnosti svrchního oděvu při zachování jeho termofyziologických vlastností a mechanické odolnosti.

LITERATURA

- [1] *Nanotechnologie v textilním průmyslu* [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z:<<http://www.fibre2fashion.com/industry-article/technology-industry-article/functional-nano-finishes-for-textiles/functional-nano-finishes-for-textiles9.asp>>
- [2] Nanoúpravy [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < <http://www.nano-tex.com/technologies/neutralizer.html#>>
- [3] Nanoúpravy budoucnosti [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < http://www.textileworld.com/Articles/2010/November/Nov_Dec_issue/Nanotechnology_In_Textiles.html>
- [4] Membrána Synergy textiles [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < <http://www.synergytextiles.com/industries/motor/polyester-nano-membrane>>
- [5] Mountain Hardwear [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < <http://www.mountainhardwear.com/Men%27s-Ghost-Whisperer%E2%84%A2-Hooded-Jacket/OM5271,default,pd.html>>
- [6] Tilak Skardu [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.etilak.cz/produkt/cz/67/skardu-bunda/>>
- [7] Marmot [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.marmot.de/content/en/collection/>>
- [8] Arcteryx [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.arcteryx.com/product.aspx?language=EN&gender=Mens&activity=Running&model=Visio-FL-Jacket>>
- [9] Marmot [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.marmot.de/content/en/collection/>>
- [10] Marmot [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.gore-tex.com/product/gore-running-wear-air-gt-as-jacket/1324239451175/>>
- [11] Tilak mikroporézní [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.etilak.cz/produkt/cz/249/attack-active-bunda/>>

- [12] Mountain [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.mountainhardwear.com/Men%27s-Ghost-Whisperer%E2%84%A2-Hooded-Jacket/OM5271,default,pd.html>>
- [13] Craft [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://shop.craftsports.us/active-run-jacket-mens.html>>
- [14] Vaude [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <http://www.ultralightoutdoorgear.co.uk/vaude_sky_fly_jacket.html>
- [15] Montane eVent [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z:
<http://www.ultralightoutdoorgear.co.uk/montane_event_spektr_smock.html>
- [16] Mountane FeatherLite [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z:
<http://www.ultralightoutdoorgear.co.uk/montane_featherlite_marathon_jacket.html>
- [17] Membrána Nanoprotex [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.nanoprotex.eu/>>
- [18] RAMAKRISHNA, S., Fujihara, K., Teo, W., Lim, T., Ma, Z.: *An introduction to electrospinning and nanofibers*, Singapore, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd., 2005, ISBN 981-256-415-2 A
- [19] RŮŽIČKOVÁ, J., Elektrostatické zvlákňování nanovláken, Liberec, Vysokoškolský podnik, 2006, ISBN 55-031-06
- [20] JIRSÁK, O., Kalinová, K, *Netkané textilie*, Liberec, Vysokoškolský podnik spol.s.r.o., 2003
- [21] MILITKÝ, J., Textilní vlákna. Klasická a speciální, Liberec, technická univerzita v Liberci, 2012, ISBN 978-80-7372-844-1
- [22] Zkoušení textilií, vlastnosti PAD 6, [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/zkouseni_textilii/ulohy/hustoty.htm>
- [23] NANOPROTEX: nanovláčenné membrány, [online].[citováno 5.3.2013]
Dostupné z: <<http://www.nanoprotex.eu>>
- [24] SMITH, W.C., Smart textile coatings and laminates, Cambridge, Woodhead publishing limited, 2010, ISBN 978-1-84569-379-4

- [25] HES, L., SLUKA, P.: *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0 (brož.).
- [26] PAN, N., Gibson, P., *Thermal and moisture transport in fibrous materials*, Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2005 C
- [27] LEČBYCHOVÁ, J., Analýza standardní metody pro hodnocení hydrostatické odolnosti textilií, Liberec, Technická univerzita v Liberci 2011
- [28] SMITH, W.C., Smart textile coatings and laminates, Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2010, ISBN 978-1-84569-379-4 D
- [29] F.O.V. [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: <<http://www.fov.se/start.htm>>
- [30] Silk&Progress [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < <http://www.silkandprogress.cz/>>
- [31] Eschler [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < <http://www.eschler.com/english/home/home.html>
- [32] SprayTest obrázek [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < <http://www.borsche.com.tw/newsimages/news6-2.jpg>>
- [33] Efektivní komunikace produktu [online].[citováno 28.11.2012]
Dostupné z: < <http://www.kht.tul.cz/items/A-BP/2009/F%C3%A1rova-marketingov%C3%A1%20komunikace%20firmy%20Roc%20k%20Point.pdf>>
- [34] Osobní sdělení, ing.Roman Knížek
- [35] JAMBUCH, M., *Fyzika vláken*, Bratislava, Alfa, 1988

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Nanovláknenná membrána SynergyTextiles v porovnání s mikroporézní membránou</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2 Schématické znázornění procesu elektrospinningu</i>	<i>18</i>
<i>Obr 3 Mikroporézní membrána</i>	<i>25</i>
<i>Obr 4 Nanovláknenná membrána</i>	<i>25</i>
<i>Obr 5 Sorpční izoterma, graf závislost přírůstku vlhkosti materiálu na relativní vlhkosti okolí</i>	<i>32</i>
<i>Obr 6 Znázornění úhlů vyjadřujících smáčení</i>	<i>33</i>
<i>Obr 7 Typy kapek</i>	<i>34</i>
<i>Obr 8 Spray test a normované úrovně smočení</i>	<i>38</i>
<i>Obr 9 Normované znázornění zkropení</i>	<i>46</i>
<i>Obr 10 Zobrazení měřené kapky</i>	<i>47</i>
<i>Obr 11 Průnik tří kapek</i>	<i>48</i>
<i>Obr 12 Přístroj Martindale</i>	<i>50</i>
<i>Obr 13 Nanovláknenná membrána zvětšená a) 1000x, b) 5000</i>	<i>54</i>
<i>Obr 14 a) 20x zvětšeno, b) 50x zvětšeno</i>	<i>54</i>
<i>Obr 15 a) 20x zvětšeno, b) 50x zvětšeno</i>	<i>55</i>
<i>Obr 16 a) 20x zvětšeno, b) 50x zvětšeno</i>	<i>55</i>
<i>Obr 17 a) 20x zvětšeno, b) 50x zvětšeno</i>	<i>55</i>
<i>Obr 18 Schématický návrh štítku upevněného na bundě z 3-vrstvého laminátu s nanovláknennou membránou</i>	<i>66</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab 1 Parametry pro dělení bund na trhu</i>	<i>13</i>
<i>Tab 2 Základní parametry polyamidu 6</i>	<i>21</i>
<i>Tab 3 Kladné a záporné vlastnosti polyamidu 6</i>	<i>21</i>
<i>Tab 4 Plošné hmotnosti svrchních textilií</i>	<i>44</i>
<i>Tab 5 Plošné hmotnosti podkladových textilií</i>	<i>44</i>
<i>Tab 6 Hodnoty výparného odporu a relativní vlhkosti pro svrchní textilie</i>	<i>45</i>
<i>Tab 7 Stejně hodnoty pro podkladové textilie</i>	<i>45</i>
<i>Tab 8 Míra zkropení textilií</i>	<i>46</i>
<i>Tab 9- Úhly smáčení</i>	<i>47</i>
<i>Tab 10 Průměrná míra vodního sloupce</i>	<i>48</i>
<i>Tab 11 Počet otáček do oděru.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab 12 Průměrné hodnoty pevností, tažností a prodloužení ve vertikálním směru</i> <i>(osnova, sloupek) a horizontálním směru (útek, řádek).....</i>	<i>51</i>
<i>Tab 13 Suma plošných hmotností [g.m⁻²] svrchních a podkladových textilií ve všech kombinacích</i>	<i>52</i>
<i>Tab 14 Výsledky měření laminátu A1</i>	<i>56</i>
<i>Tab 15 Výsledky měření laminátu B2</i>	<i>58</i>
<i>Tab 16 Mechanické vlastnosti laminátů</i>	<i>59</i>
<i>Tab 17 Pevnost spoje laminátů</i>	<i>61</i>
<i>Tab 18 Vlastnosti laminátu s navýšením plošné hmotnosti membrány</i>	<i>65</i>

SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha 1 Hodnoty z měření parametrů termofyziologického komfortu</i>	<i>75</i>
<i>Příloha 2 Snímky z elektronového mikroskopu</i>	<i>79</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Hodnoty z měření parametrů termofyziologického komfortu

	M_p	permetest		prodyšnost	vodní sloupec	úhel smáčení
počet	g.m^{-2}	Ret	$\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}$	$\text{l.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	cmH_2O	°
				100Pa		

svrchní tkaniny

A padákovina - bílá						
1	43.05	2.8	67.1	13.6	28.4	133.4
2	43.11	1.9	75	14.7	27.2	133.3
3	42.86	2.1	72.3	13.3	29	135.1
4	43.11	2.3	71.3	14.5		133.3
5	42.78	1.7	77.3	14.2		133.7
průměr	42.9820	2.1600	72.6000	14.0600	28.2000	133.7600
smodch	0.1525	0.4219	3.8691	0.5941	0.9165	0.7668
rozptyl	0.0233	0.1780	14.9700	0.3530	0.8400	0.5880
var.koef.	0.0035	0.1953	0.0533	0.0423	0.0325	0.0057

B Světle zelená						
	46.45	1.3	87.6	14	0	92.5
	49.73	1.3	87.2	13.8	0	vsáknuto
	46.38	1.4	86.9	13.4	0	
	49.95	1.3	87.4	12.3	0	
	47.93	1.4	86.9	12.8	0	
průměr	48.0880	1.3400	87.2000	13.2600	0.0000	
smodch	1.7167	0.0548	0.3082	0.7057		
rozptyl	2.9471	0.0030	0.0950	0.4980		
var.koef.	0.0357	0.0409	0.0035	0.0532		

C tmavě modrá						
1	50.06	1.2	88.8	9.94	0	77.5
2	53.01	1.2	88	10.3	7.2	vsáknuto
3	50.07	1	89.8	10.1	3.1	
4	52.98	2	82.1	9.89	6.9	
5	51.73	1.1	89.6	9.95	2.9	45.1
průměr	51.5700	1.3000	87.6600	10.0360	4.0200	
smodch	1.4678	0.4000	3.1887	0.1671	3.0277	
rozptyl	2.1544	0.1600	10.1680	0.0279	9.1670	
var.koef.	0.0285	0.3077	0.0364	0.0167	0.7532	

D běžová						
1	49.93	1.5	85.5	5.51	22.2	127.1
2	50.69	1.5	85.3	5.38	26.4	127.3
3	50.16	1.4	86.6	5.27	26.2	129.4
4	50.65	1.9	82.2	6.69	22.7	131.1
5	49.88	1.8	82.9	5.25	23.4	126.6
průměr	50.2620	1.6200	84.5000	5.6200	24.1800	128.3000
smodch	0.3874	0.2168	1.8641	0.6070	1.9829	1.8960
rozptyl	0.1501	0.0470	3.4750	0.3685	3.9320	3.5950
var.koef.	0.0077	0.1338	0.0221	0.1080	0.0820	0.0148

E černá						
1	51.52	2	80.7	4.17	16.4	125.9
2	51.85	1.6	84.6	4.78	20.4	114.7
3	51.51	1.6	84.9	4.91	22.4	122.7
4	51.92	1.6	85.2	4.72	21.5	121.6
5	51.64	1.4	86.8	4.75	17.3	123.9
průměr	51.6880	1.6400	84.4400	4.6660	19.6000	121.7600
smodch	0.1886	0.2191	2.2568	0.2866	2.6277	4.2565
rozptyl	0.0356	0.0480	5.0930	0.0821	6.9050	18.1180
var.koef.	0.0036	0.1336	0.0267	0.0614	0.1341	0.0350

podšívky						
1 Norsilk tkanina - bílá jemná						
1	21.84	0.4	94.4	1030	0	114.2
2	20.93	0.3	94.9	1030	0	115
3	21.81	0.4	93	1030	0	115.4
4	20.97	0.4	93.4	1030	0	117.6
5	21.8	0.5	92	1030	0	116.5
průměr	21.4700	0.4000	93.5400	1030.0000	0.0000	115.7400
smodch	0.4751	0.0707	1.1480	0.0000		1.3297
rozptyl	0.2258	0.0050	1.3180	0.0000		1.7680
var.koef.	0.0221	0.1768	0.0123	0.0000		0.0115
2 Eschler pletenina bílá						
bílá	43.5	0.5	94.6	716	0	116.9
eschler	43.2	0.9	90.8	705	0	110.5
plet.	43.45	0.6	94.2	696	0	vsáknuto
	43.21	0.8	91.8	713	0	
	43.49	0.8	92.2	698	0	48.3
průměr	43.3700	0.7200	92.7200	705.6000	0.0000	
smodch	0.1518	0.1643	1.6223	8.8487		
rozptyl	0.0230	0.0270	2.6320	78.3000		
var.koef.	0.0035	0.2282	0.0175	0.0125		0.4123

3 Eschler pletenina černá						
1	74.5800	1.6	85.5	252	0	0
2	80.4400	1.5	86	278	0	0
3	74.5200	1.7	84.8	293	0	0
4	80.3500	1.8	83.8	274	0	0
5	80.4000	1.7	84.4	269	0	0
průměr	78.0580	1.6600	84.9000	273.2000	0.0000	0.0000
smodch	3.2026	0.1140	0.8718	14.8560		
rozptyl	10.2565	0.0130	0.7600	220.7000		
var.koef.	0.0410	0.0687	0.0103	0.0544		

parametr	M _p	paropropustnost	tloušťka	prodyšnost 100 Pa	vodní sloupec	úhel smáčení
jednotky	g.m ⁻²	Pa.m ² .W ⁻¹	mm	l.m ⁻² .s ⁻¹	cmH ₂ O	°
A1, padákovina + tkanina						
1	84.32	4.2	0.23	1.98	448.7	126.2
2	85.62	5.4	0.24	1.63	517.9	123.6
3	84.33	4.1	0.25	1.34	411.6	119.5
4	84.25	4.8	0.25	1.6	418.9	121.7
5	84.12	5.3	0.22	2.1	436.2	115.5
průměr	84.528	4.76	0.238	1.73	446.66	121.3
smodch	0.616174	0.602495	0.0130384	0.3075711	42.39261	4.072469
rozptyl	0.37967	0.363	0.00017	0.0946	1797.133	16.585
var.koef.	0.00729	0.126575	0.0547832	0.1777868	0.09491	0.033574
B2, béžová+pletanina						
1	115.58	4.6	0.41	5.25	256	138.4
2	115.43	3.4	0.4	5.12	270	132.3
3	112.67	4.4	0.4	4.98	419.2	130.3
4	117.57	3.7	0.4	5.73	206.6	126.4
5	117.71	4.5	0.4	5.61	437.7	124.1
průměr	115.792	4.12	0.402	5.338	317.9	130.3
smodch	2.047125	0.535724	0.0044721	0.3205776	103.8357	5.551126
rozptyl	4.19072	0.287	2E-05	0.10277	10781.86	30.815
var.koef.	0.017679	0.13003	0.0111247	0.0600558	0.32663	0.042603

Příloha 2 - Snímky z elektronového mikroskopu

